



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE GEOGRAFIA (BACHARELADO)

SAMIR GONÇALVES FERNANDES COSTA

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E DAS PERDAS  
DE SOLO NA BACIA EXPERIMENTAL DO RIACHO GUARAÍRA**

**João Pessoa - PB  
2013**

SAMIR GONÇALVES FERNANDES COSTA

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E DAS PERDAS  
DE SOLO NA BACIA EXPERIMENTAL DO RIACHO GUARAÍRA**

Monografia apresentada ao Curso de  
Geografia da Universidade Federal da Paraíba,  
para obtenção do grau de bacharel em  
Geografia.

**Orientador:** Prof. Dr. Richarde Marques da Silva

**João Pessoa - PB  
2013**

COSTA, Samir Gonçalves Fernandes.

Análise da Evolução do Uso e Ocupação do Solo e das perdas de solo na Bacia Experimental do Riacho Guaraíra - 2013. 53 p.

Orientador: Richarde Marques da Silva

Monografia – Graduação em Geografia (Bacharelado)  
Universidade Federal da Paraíba, 2012. p. 53.

Orientador: Richarde Marques da Silva

1. bacia. 2. erosão. 3. métodos empíricos. 4 SIG.  
CDD:

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E DAS PERDAS  
DE SOLO NA BACIA EXPERIMENTAL DO RIACHO GUARAÍRA**

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nota: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Richarde Marques da Silva  
Orientador - Universidade Federal da Paraíba

---

Prof. Msc. Leonardo Pereira e Silva  
Examinador

---

Prof. M. Sc. José Yure Gomes dos Santos  
Examinador

**João Pessoa - PB  
2013**

## EPÍGRAFE

*Desconfie do destino e acredite em você.  
Gaste mais horas realizando que sonhando,  
fazendo que planejando, vivendo que  
esperando... Porque, embora quem quase  
morre esteja vivo, quem quase vive, já  
morreu...*

Luiz Fernando Veríssimo.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por todas as vitórias na minha vida!

Aos meus pais Manoel de Almeida Costa e Saliene Fernandes Campelo Costa e irmãs Samira Gonçalves Queiroga da Costa e Samara Gonçalves Fernandes da Costa, que estão sempre ao meu lado, apoiando e incentivando no que me proponho a fazer, e, principalmente neste momento;

À minha avó e segunda mãe Marlene Ferreira Queiroga por sempre me dar carinho, apoio e grandes ensinamentos;

Aos meus amigos Helliton de Souza Oliveira, Moisés Araújo Cardoso, Nielson Polucena Lourenço e Dayanison Pinheiro Passos pelas trocas de experiências, pelo convívio e pelas alegrias partilhadas. Incluo também todos os colegas que convivi nas jornadas diárias durante esses anos de graduação na UFPB.

Ao meu orientador Richarde Marques da Silva e ao mestrando Valeriano Carneiro de Lima Silva, pelas orientações e colaborações nos trabalhos em laboratório e nessa trajetória;

A Professora Edinilza Barbosa dos Santos pelas contribuições dadas nos trabalhos de campo;

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de pesquisa de IC no período 2011-2012 que serviu como aprendizado e base para a elaboração deste trabalho;

E ao Laboratório de Ensino, Pesquisa e Projetos em Análise Espacial – LEPPAN, da UFPB, pela disponibilização de dados e equipamentos utilizados neste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 Objetivos .....	13
<b>2. ABORDAGEM CONCEITUAL .....</b>	<b>14</b>
2.1 Bacia Hidrográfica como Unidade de Estudo.....	14
2.2 O Processo de Erosão e Degradação de Solos .....	15
2.3 Gestão e Gerenciamento de bacias .....	16
2.4 Monitoramento Geoambiental de Bacias Hidrográficas.....	19
2.5 Uso de Métodos Empíricos na estimativa de perdas de solos .....	20
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
3.1 Localização da Área de Estudo.....	21
3.2 Aspectos Fisiográficos .....	23
3.3 Utilização de Geotecnologias na análise do Uso e Ocupação do Solo .....	24
3.4 Aplicação dos Métodos Empíricos USLE e PNE .....	25
3.4.1 Fator R (Erosividade) .....	26
3.4.2 Fator K (Erodibilidade do Solo).....	27
3.4.3 Fator LS (Fator Topográfico) .....	27
3.4.4 Fatores C E P (Uso do Solo e Práticas Conservacionistas).....	27
3.5 Levantamento em Campo .....	28
3.6 Criação de Banco de Dados .....	29
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
4.1 Erosividade .....	30
4.2 Erodibilidade.....	32
4.3 Topográfico.....	34
4.4 Usos do Solo e Práticas Conservacionistas.....	36
4.5 Evolução do Uso e Ocupação do Solo .....	39
4.6 Perdas de Solo aplicando a USLE .....	41
4.7 Potencial Natural de Erosão da bacia.....	45
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Localização da Bacia Experimental do Riacho Guaraíra.....	22
<b>Figura 2</b> – Levantamento das feições da paisagem na área da bacia.....	29
<b>Figura 3</b> – Mapa da Erosividade da Bacia Experimental do Riacho Guaraíra. ....	31
<b>Figura 4</b> – Mapa de Erodibilidade de Solos da Bacia Experimental do Riacho Guaraíra..	33
<b>Figura 5</b> – Mapa do Fator LS para a Bacia Experimental do Riacho Guaraíra.....	35
<b>Figura 6</b> – Recorte da Carta Topográfica de 1974 com a área da bacia. ....	37
<b>Figura 7</b> – Tipos de Uso e Ocupação dos Solos em 1974. ....	37
<b>Figura 8</b> – Recorte da imagem do Satélite <i>GeoEye</i> de 2012 contendo a bacia. ....	38
<b>Figura 9</b> – Tipos de Uso e Ocupação dos solos em 2012. ....	38
<b>Figura 10</b> – Tipos de Uso e Ocupação encontrados na Bacia Experimental do Riacho Guaraíra. ....	39
<b>Figura 11</b> – Percentual das Classes de Uso e Ocupação de Solos em 1974.....	40
<b>Figura 12</b> – Percentual das Classes de Uso e Ocupação de Solos em 2012.....	41
<b>Figura 13</b> – Mapa das Perdas de Solo em 1974 pelo Método USLE. ....	43
<b>Figura 14</b> – Mapa das Perdas de Solo em 2012 pelo Método USLE. ....	44
<b>Figura 15</b> – Mapa do PNE da Bacia Experimental do Riacho Guaraíra. ....	46



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Localização e Período de dados das Estações Pluviométricas utilizadas .....	26
<b>Tabela 2</b> – Solos e respectivos valores de Erodibilidade da bacia .....	27
<b>Tabela 3</b> – Relação entre a Erosividade e Fragilidade de solos da bacia .....	30
<b>Tabela 4</b> – Área ocupada por cada tipo de solo em km <sup>2</sup> e percentual .....	32
<b>Tabela 5</b> – Classes do Fator Topográfico na bacia .....	34
<b>Tabela 6</b> – Distribuição das declividades por relevo e áreas correspondentes .....	34
<b>Tabela 7</b> – Usos do Solo na bacia e respectivos valores dos Fatores C e P.....	36
<b>Tabela 8</b> – Uso e Ocupação do Solo dos anos de 1974 e 2012 em km <sup>2</sup> .....	40
<b>Tabela 9</b> – Perdas de Solo de 1974 e 2012 por área ocupada .....	42
<b>Tabela 10</b> – Perda de Solo por Grau de Erosão .....	42
<b>Tabela 11</b> – Intervalos de Classes de PNE da bacia e respectivas áreas .....	45

## RESUMO

A intensificação das práticas agrícolas e a expansão urbana em bacias hidrográficas têm acelerado os processos de erosão. Perante essa problemática, este trabalho teve como objetivo analisar a evolução do uso e ocupação do solo e as perdas de solo da Bacia Experimental do Riacho Guaraíra nos anos de 1974 e 2012. Foram utilizadas as técnicas de Sensoriamento Remoto, o *software* SIG ArcGIS 9.3 e as equações empíricas USLE e PNE. Os resultados obtidos da análise temporal do uso e ocupação do solo confirmam um predomínio da monocultura cana-de-açúcar, que ocupa atualmente 34 % da área da bacia, enquanto que a vegetação perdeu quase 30% de sua composição natural. Aplicando o método USLE, as perdas de solo de 1974 e 2012 variaram de 0 a 50 ton/ha/ano, com predomínio de perdas menores ou iguais a 5 ton/ha/ano, em quase 90% da bacia. Utilizando o método do PNE os resultados demonstraram que a bacia possui um baixo potencial erosivo em 83,7 % da bacia. Portanto, a utilização integrada das equações empíricas em ambiente SIG demonstrou ser uma técnica eficaz na representação espacial das perdas de solo e na identificação de áreas mais vulneráveis à erosão, podendo fornecer subsídios para ações de planejamento ligadas ao manejo adequado da cobertura vegetal e do tipo de solo em bacias hidrográficas.

**Palavras-chave:** bacia; erosão; métodos empíricos; SIG.

## ABSTRACT

The intensification of agricultural practices and urban sprawl in watersheds has accelerated erosion processes. Before that problematic, this paper aimed at analyzing the evolution of the use and occupation and soil loss in the Guaraíra River Experimental Basin to 1974 and 2012, using remote sensing techniques, GIS software ArcGIS 9.3 and the empirical equations USLE and PNE. The results obtained from temporal analysis of the use and occupation of soils confirmed a predominance of monoculture sugarcane, which holds 34 % of the basin area, while the vegetation lost nearly 30 % of its natural composition. Applying USLE method, soil losses from 1974 and 2012 ranged from 0 to 20 ton/ ha/year, with a predominance of losses less than or equal to 5 ton/ha/year, about 90 % of the basin. Using the method of PNE results showed that the basin has a low erosive potential in 83.7% of the basin. Therefore, the use of empirical equations in integrated GIS proved to be an effective technique in the spatial representation of soil losses and to identify areas most vulnerable to erosion and may provide grants for planning related to the proper management of vegetation and the type of soil in watersheds.

**Keywords:** basin; erosion; empirical methods; GIS.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional brasileiro nos últimos 40 anos, acompanhado do crescente processo de desenvolvimento urbano e agroindustrial, têm exercido sérios impactos sobre os recursos naturais, principalmente na água e no solo. Tais impactos vêm acentuando os processos erosivos, assoreando rios, lagos e a poluição de reservatórios.

Em contraponto a essa problemática, nos últimos anos houve uma grande evolução nos estudos de solos e dos recursos hídricos com o advento da utilização de técnicas de modelagem e aplicação de Geotecnologias. Isso passa pelo poder de integração que as ferramentas de análises geoespaciais possibilitam, de modo fácil e rápido a obtenção de uma gama de informações espaciais. Apesar disso, no Brasil há uma carência de informações espaciais relacionadas ao meio físico, devido às dificuldades de aquisição dos dados junto aos órgãos competentes.

Segundo Almeida (2010) os primeiros estudos envolvendo o uso de geotecnologias surgiram com as tecnologias de Sensoriamento Remoto no começo da década de 1970. Com a evolução dos sistemas computacionais alcançada na década de 1990, no que se refere à disponibilização de imagens com alta resolução espacial, atualmente, a integração de ambientes SIG (Sistema de Informação Geográfica) utilizando imagens de satélite vem obtendo grande impulso, por proporcionar análises geoespaciais em qualquer parte do planeta. Silva e Santos (2008) discorrem que essa incorporação dos SIGs, aliados aos métodos empíricos (equações hidrossedimentológicas) são cada vez mais comuns e muito eficazes nas análises de perdas de solo.

A aplicação dessas equações começou a ser implantada no final da década de 1950 (Wischmeier e Smith, 1978; Bertoni e Lombardi Neto, 1985; Farinasso et al., 2006) pelo Serviço de Conservação dos Solos dos Estados Unidos através da *Universal Soil Loss Equation* (USLE), conhecida no Brasil como Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS). Esse modelo equacional baseia-se em dados obtidos de experimentos em campo e de fatores intervenientes no processo erosivo, que por meio do cálculo desses fatores são estimadas as perdas de solo. Outras equações como a do Potencial Natural de Erosão (PNE) se baseiam nos preceitos da USLE.

Logo, é possível com o emprego das geotecnologias, equações empíricas e a representação gráfica por meio de mapas temáticos, a análise da ocupação do solo; monitoramento do desmatamento de matas ciliares; erosão; assoreamentos de rios e lagos;

contaminação; compactação; diminuição da matéria orgânica; dentre outros impactos que afetam profundamente o ciclo da água e o solo.

Partindo disso, ao refletir sobre os impactos ambientais gerados ao longo dos últimos 30 anos na região litorânea da Paraíba e em grande parte do nordeste oriental, devido principalmente à presença do cultivo canavieiro, que é comum na região, despertou-se o interesse de um estudo dos tipos de uso, ocupação e das perdas de solo na Bacia Experimental do Riacho Guaraíra, tributária da Bacia do Rio Gramame, principal fornecedora de água para a região metropolitana de João Pessoa.

No trabalho foram analisado os anos de 1974 e 2012 devido a eficácia que uma apreciação temporal proporciona na análise de processos erosivos. Para tanto foram utilizadas as técnicas de Sensoriamento Remoto, a ferramenta SIG ArcGIS 9.3 e aplicação de equações empíricas. Com isso, esse trabalho visa contribuir na elaboração de planos de adequação e emprego de atividades que não causem danos aos solos e aos recursos hídricos da região.

## **1.1 Objetivos**

### **Geral**

Analisar o uso, ocupação do solo e as perdas de solo na Bacia Experimental do Riacho Guaraíra, comparando os anos de 1974 e 2012.

### **Específicos**

- Analisar as modificações no uso e ocupação do solo na Bacia Experimental do Riacho Guaraíra;
- Aplicar equações empíricas de perdas de solo;
- Produzir mapas temáticos de perdas de solos para espacialização de processos erosivos;
- Identificar as áreas mais suscetíveis à erosão da bacia.

## **2. ABORDAGEM CONCEITUAL**

### **2.1 Bacia Hidrográfica como Unidade de Estudo**

São inúmeras as definições propostas para bacia hidrográfica, dentro de uma conceituação geomorfológica e de uma abordagem geossistêmica Christofolletti (1980) conceitua bacia hidrográfica como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial, funcionando como um sistema aberto.

Complementando essa definição, Suguio e Bigarella (1990) e Coelho Netto (1994), em suas definições de bacia hidrográfica a caracterizam como uma área da superfície terrestre com a capacidade de drenar água, sedimentos e materiais que são dissolvidos para uma saída comum de um canal fluvial, no qual o limite dessa área de drenagem é denominado de “divisor de drenagem ou divisor de águas”.

Do ponto de vista hidrológico Tucci (1997) defini bacia como uma área delimitada de captação de água de precipitação pelos divisores topográficos onde essas águas precipitadas são escoadas por um sistema fluvial, podendo ser drenadas através do escoamento superficial ou direto, formando os riachos e rios convergindo para um único ponto de saída (exutório).

As características de percolação de uma bacia hidrográfica são muito relevantes para seu estudo. Santos (2001) explica que seu curso pode ser dividido em três seções: curso superior, médio e o inferior. O primeiro é caracterizado pela área de maior inclinação, onde a força erosiva e de transporte de sedimentos é intenso, sendo que em regiões declivosas o rio circula por entre as rochas do terreno, formando quedas de água, gargantas ou desfiladeiros. No curso médio do rio há uma redução da declividade, neste trecho há formação de amplas curvas chamadas de meandros, os quais contribuem na diminuição da velocidade da água. O curso inferior corresponde ao trecho mais próximo à foz do rio, onde a declividade é quase nula.

Quanto ao tamanho, a classificação ideal para um bacia hidrográfica é aquela que incorpora toda a problemática de interesse, seja de uma pequena bacia de 0,5 km<sup>2</sup> em área urbana, ou em uma bacia com mais de 600.000 km<sup>2</sup> de área. Esse conceito sistêmico adapta-se muito bem aos sistemas de gestão de recursos hídricos (PORTO e PORTO, 2008). Tais delimitações de área de drenagem são aplicadas para o uso dos termos sub-bacias e microbacias. Esses conceitos se relacionam a ordens hierárquicas dentro de uma

rede hídrica, com limites variados de drenagem, consequentemente, ainda não há consonância entre suas denominações.

Além das características físicas e naturais da bacia, outros autores como Ross (1998); Monteiro (2000) e Araújo (2003) inserem na abordagem geossistêmica as consequências provocadas pelas atividades antrópicas, tendo em vista que não se deve estudar os componentes da natureza por si mesmos, mas sim investigar a unidade resultante da interação do homem com a natureza. Além disso, entender a dinâmica do manejo e conservação das redes hidrográficas, tipos de solo, regime de chuvas e relevo são bastante importantes.

Sendo assim, essas características que compõem uma bacia hidrográfica a tornam uma unidade bem definida e são essenciais em um estudo de análise ambiental. Principalmente em áreas que servem de abastecimento público e irrigação é essencial. Baseando-se nesta visão, o estudo de bacias deve sempre priorizar a análise integrada e correlacionando os arranjos ambientais existentes.

## **2.2 O Processo de Erosão e Degradação de Solos**

Para entender o processo de erosão de solos é importante primeiramente definir solo. Na definição da EMBRAPA (2006) tem-se que o solo é um elemento que compõe a parte superficial da crosta terrestre, sendo este um recurso natural fundamental do meio ambiente e estabelece o substrato natural para o desenvolvimento vegetal.

A importância da vegetação está na ação protetora que oferece, pois funciona como uma espécie de barreira natural contra enchentes, assoreamentos, preservando também a qualidade da água nos rios. Quando essa composição vegetal se localiza as margens dos rios, lagos e córregos é chamada de mata ciliar. Esse tipo vegetal típicos de áreas próximas a cursos d'água são constituídos de árvores, arbustos, cipós, flores e de frutos nativos da vegetação da região onde está inserido o curso.

Apesar disso, Guerra e Mendonça (2004) explica que a erosão é um processo natural e importante para a formação do relevo. Causada pela destruição da composição física do solo e seu carregamento é provocado pela ação das chuvas, ventos, entre outros.

Dentre essas várias formas de erosão existentes na natureza, a provocada pela ação da água das chuvas é a maior responsável pela produção de sedimentos. Segundo Christofoletti (1999) essa produção de sedimentos é provocada pela degradação de solos

que chega aos cursos d'água. Os sedimentos possuem diferentes granulometrias e diferentes processos de transporte, variado conforme as condições locais e de escoamento, ou seja, sua variação depende do tamanho e tipo material retirado das vertentes, além da própria força de escoamento da água nas margens e no fundo do canal fluvial.

Seu processo de carregamento contínuo de sedimentos pela cinética hídrica resulta na chamada erosão laminar (TUNDISI et al., 2002; GUERRA e MENDONÇA, 2004). Para Santos et al. (2010) esse tipo de erosão é uma remoção homogênea da porção superficial do solo que interfere na qualidade da água de um rio. Acrescenta-se a esse impacto o empobrecimento do solo pela perda de nutrientes e matéria orgânica que contamina a água, pois a água que não se infiltra carrega o material do solo e os resíduos dos produtos químicos usados no preparo e manejo do solo. Essa baixa produtividade causa a degradação do solo, que segundo Bigarella e Mazuchowski (1985), durante a atuação da erosão laminar, há uma progressiva e sucessiva retirada das finas partículas do solo.

A degradação de solos, para Guerra e Cunha (2011) pode ser considerada como um dos mais importantes problemas ambientais dos nossos dias, afetando áreas com cobertura vegetal nativa. Essa degradação se deve muito pela ocupação desordenada de solos em bacias hidrográficas e as ações decorrentes das políticas habitacionais, agravando os desequilíbrios nesses ecossistemas.

Dentre as atividades que causam degradações podem ser citadas as práticas agrícolas, mineração e urbanização. Esse mau uso de terras das atividades humanas reduzem a estabilidade do solo. Para Carvalho et al. (2006) uma solução para isso está na identificação dos usos e ocupação de solos, pois se constitui em importante elemento de análise ambiental por possibilitar a reunião de informações e dados sobre uma determinada localidade, o que auxilia na identificação e localização dos agentes responsáveis pelas condições ambientais da área.

### **2.3 Gestão e Gerenciamento de bacias**

Mediante a atual discussão sobre o novo Código Florestal e suas alterações, as normas de uso e ocupação de áreas próximas a matas ciliares e nascentes de rios, estabelecidas pela Lei 4.771/1965, no que diz respeito às Áreas de Preservação



Permanentes (APP), certamente sofrerão várias mudanças, que poderão trazer sérios riscos e danos ao meio ambiente.

A legislação que atualmente rege sobre as áreas com vegetações próximas a rios ou de qualquer curso d'água, apesar de algumas alterações pela Lei nº 7.511, de 7 de Julho de 1986, curso d'água, afirma em seu artigo 2º:

Art. 2º - Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas: a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água em faixa marginal cuja largura mínima seja:

- 1) de 30 (trinta) metros para os rios de menos de 10 (dez) metros de largura;
- 2) de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- 3) de 100 (cem) metros para os cursos d'água que meçam entre 50 (cinquenta) e 100 (cem) metros de largura;
- 4) de 150 (cento e cinquenta) metros para os cursos d'água que possuam entre 100 (cem) e 200 (duzentos) metros de largura;
- 5) igual à distância entre as margens para os cursos d'água com largura superior a 200 (duzentos) metros.

Não é recente também a legislação que normatiza a gestão de bacias. No Brasil iniciou com o Decreto Federal nº 24.643, de 10 de julho de 1934, também conhecido como “Código das Águas”. Nesse código é estabelecido que seu aproveitamento fosse feito de forma racional. Essa postura consolidou-se com a Constituição Federal de 1988 que em seu artigo 21 inciso XIX, instituiu o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos.

A partir de 1997 a implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos, amparada pela Lei 9433 de 1997 ficaria como competência da União. Essa lei do PNRH estabelece princípios e normas de gestão dos recursos hídricos e situa a bacia hidrográfica como um recorte natural de abrangência desse recurso. Essa lei formou como um de seus instrumentos (Art. 5º, III) a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos, a qual constitui o elemento central normativo dos recursos hídricos e indutor do ordenamento dos usos.

A partir da Agência Nacional de Águas (ANA), sendo esta baseada na Lei n.º 9.984/2000, essa agência fica responsável pela viabilização da estrutura institucional da gestão dos recursos hídricos no país. Dessa forma pode-se promover a descentralização da gestão no país, o que vem permitindo melhores tomadas de decisões e de forma mais

eficiente. Para melhor estabelecer esse gerenciamento dos recursos hídricos no país, o território brasileiro foi dividido em Regiões Hidrográficas, com base na Resolução nº 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, de 15 de outubro de 2003.

Essas regiões têm sua divisão justificada pelas diferenças existentes no país, tanto no que se refere aos ecossistemas como também diferenças de caráter econômico, social e cultural. Nascimento e Vilaça (2008) ressaltam que essa descentralização da gestão dos recursos hídricos em Comitês de Bacias Hidrográficas possibilita um novo mecanismo de cooperação multilateral entre as esferas federal e estadual, na solução de problemas regionais, potencializando as parcerias interdisciplinares e interinstitucionais.

Na Paraíba a gestão dos recursos hídricos está prevista na Lei Nº 6.308, de 02/07/1996, que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos. O órgão gestor no estado é a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), criada pela Lei nº 7.779, de 07/07/2005, com a representatividade jurídica de uma Autarquia. A AESA é vinculada à Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia (SERHMACT).

De acordo com a agência, o estado é dividido em 11 bacias hidrográficas: bacia do Rio Paraíba; bacia do Rio Abiaí; bacia do Rio Gramame; bacia do Rio Miriri; bacia do Rio Mamanguape; bacia do Rio Camaratuba; bacia do Rio Guaju; bacia do Rio Piranhas; bacia do Rio Curimataú; bacia do Rio Jacu; e bacia do Rio Trairi, as cinco últimas de domínio federal.

A distribuição, coleta e tratamento dessa água para os municípios é de responsabilidade da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). Atualmente, existem três comitês de bacias estaduais na Paraíba: o Comitê da Bacia do Rio Paraíba, o Comitê das Bacias do Litoral Norte (Bacias do Miriri, Mamanguape e Camaratuba), Litoral Sul (Bacias do Abiaí e do Gramame), a qual está inserida a Bacia Guaraíra e o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Pianco – Piranhas Açú, este último além de pertencer ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba está vinculado ao conselho do Rio Grande do Norte.

Conforme Araújo et al. (2012), o comitê Litoral Sul é formado por um colegiado composto por representantes do poder público, da sociedade civil e usuários de água. O Comitê foi criado para acentuar de forma ativa as políticas públicas, sendo necessário entender os processos sociais e territoriais que envolvem o Estado e a sociedade, tornando a gestão hídrica mais compartilhada e participativa. Dentro desta lógica seus membros

buscam atuar de forma efetiva no surgimento de possíveis conflitos na área de domínio das bacias. Na área de atuação do Comitê das Bacias Hidrográficas do Litoral Sul, estão os municípios de Alhandra, Caaporã, Conde, Cruz do Espírito Santo, João Pessoa, Pedras de Fogo, Pitimbu, Santa Rita e São Miguel de Taipu.

Assim, torna-se fundamental e necessária a fiscalização dos órgãos competentes sobre os proprietários rurais, cujos domínios territoriais existam próximos as nascentes ou de outros corpos d'água. Estes proprietários são responsabilizados por recuperar, manter e proteger as matas ciliares e o entorno das nascentes com base na lei.

Mais que uma tendência em termos de políticas de proteção do ambiente natural, é algo necessário e urgente. Ao gerir esses ecossistemas aplicando um manejo adequado às características físicas e naturais do local contribui na manutenção sustentável das riquezas naturais e de seus recursos.

## **2.4 Monitoramento Geoambiental de Bacias Hidrográficas**

Para dar suporte a gestão e o gerenciamento de bacias, as técnicas de Sensoriamento Remoto aliadas aos SIGs vêm se tornando cada vez mais indispensáveis à realização de estudos e projetos na área de meio ambiente, isso se deve ao grande número de variáveis e a possibilidade de interrelacionar essas variáveis, bem como o tamanho da área abrangida por eles.

Segundo Almeida (2010), o Brasil foi pioneiro em termos de ciência espacial, pois apenas os Estados Unidos e Brasil dispunham de antenas para recepção dos dados, quando em 1972, foi lançado o primeiro satélite civil comercial de observação da Terra, o *Earth Resources Satellite* (ERS), que posteriormente veio a se chamar de LANDSAT 1.

Através do Sensoriamento Remoto, Florenzano (2007) explica que é possível monitorar diferentes tipos de usos e de ocupação em grandes áreas. Composto basicamente da delimitação e do reconhecimento ótico dentro dessa área. Posteriormente, cria-se um banco de dados em ambiente SIG, que serve como armazenador das informações espaciais, onde a atualização dessas informações é fundamental para planejamentos ambientais.

Nos trabalhos de planejamento ou previsão de impactos ambientais cujo enfoque é a erosão do solo, percebe-se o crescente uso dos SIGs. Além da rapidez na manipulação dos dados, os SIGs permitem um diagnóstico mais criterioso da situação da área, por tratar as informações de forma espacial. No caso da erosão, a posição geográfica das áreas de

maior perda ou acúmulo de terra, principalmente em bacias hidrográficas, é uma informação de suma importância para apoiar decisões de intervenção de áreas (PRADO et al, 2005).

Devido a todas essas possibilidades e benefícios que o Sensoriamento Remoto e os SIGs trazem, é notório o potencial dessas ferramentas como instrumentos técnicos na elaboração de um planejamento e gestão dos recursos hídricos, tanto em áreas urbanas como rurais, por permitirem monitorar e dinamizar a obtenção de dados de forma eficaz. Essa importância é reforçada por Carvalho et al. (2010) na avaliação de riscos de erosão do solo da Bacia do Rio Passa Cinco-SP devido sua aplicação possibilitar avaliar a ocupação em áreas urbanas e no trabalho de Rampim et al. (2012) na determinação da capacidade dos tipos de uso e ocupação de solo em Londrina-PR em áreas agrícolas.

Com uma melhor caracterização e conhecimento de uma bacia, é possível então expressar quantitativamente as manifestações de seus processos e suas inter-relações. Assim, vários parâmetros físicos foram desenvolvidos, alguns deles aplicáveis à bacia como um todo e outros relativos a apenas algumas características do sistema.

## **2.5 Uso de Métodos Empíricos na estimativa de perdas de solos**

Para a análise temporal e quantificação de perdas de solo em bacias. Além dos SIGs e do Sensoriamento Remoto, os métodos empíricos de quantificação de perdas de solo são cada vez mais utilizados. Esses métodos de predição de perdas de solos baseiam-se em experiências ou em conhecimentos obtidos por percepção dos fenômenos ambientais e possuem variados métodos de aplicação.

Em geral, a literatura existente sobre o assunto traz que esses “modelos” são formulados por regressões cujos coeficientes são definidos experimentalmente. Os principais modelos existentes levam em consideração os fatores envolvidos no processo de erosão, que incluem características climáticas, tipos de solos, topografia e práticas de uso e ocupação de solos. Ao ser a erosão hídrica considerada um dos maiores impactos provenientes de atividades agropecuárias, a sua previsão é atualmente indispensável ao planejamento do uso sustentável do solo. Os modelos matemáticos de predição de erosão, quando devidamente aplicados, são considerados ferramentas altamente apropriadas para o estudo dos fatores intervenientes no processo erosivo e direcionamento das decisões de gerenciamento do uso do solo (BACCHI et al., 2008).

Com a utilização de valores estimados, o resultado é que a análise dos valores obtidos na aplicação do modelo seja realizada de forma qualitativa, criando a necessidade de pesquisas que contribuam com dados locais. Por ser imperiosa a validação e calibração desses modelos junto a ferramentas precisas que estimem a magnitude das influências dos fatores ativos no processo erosivo, gera um melhor entendimento dos processos hidrossedimentológicos.

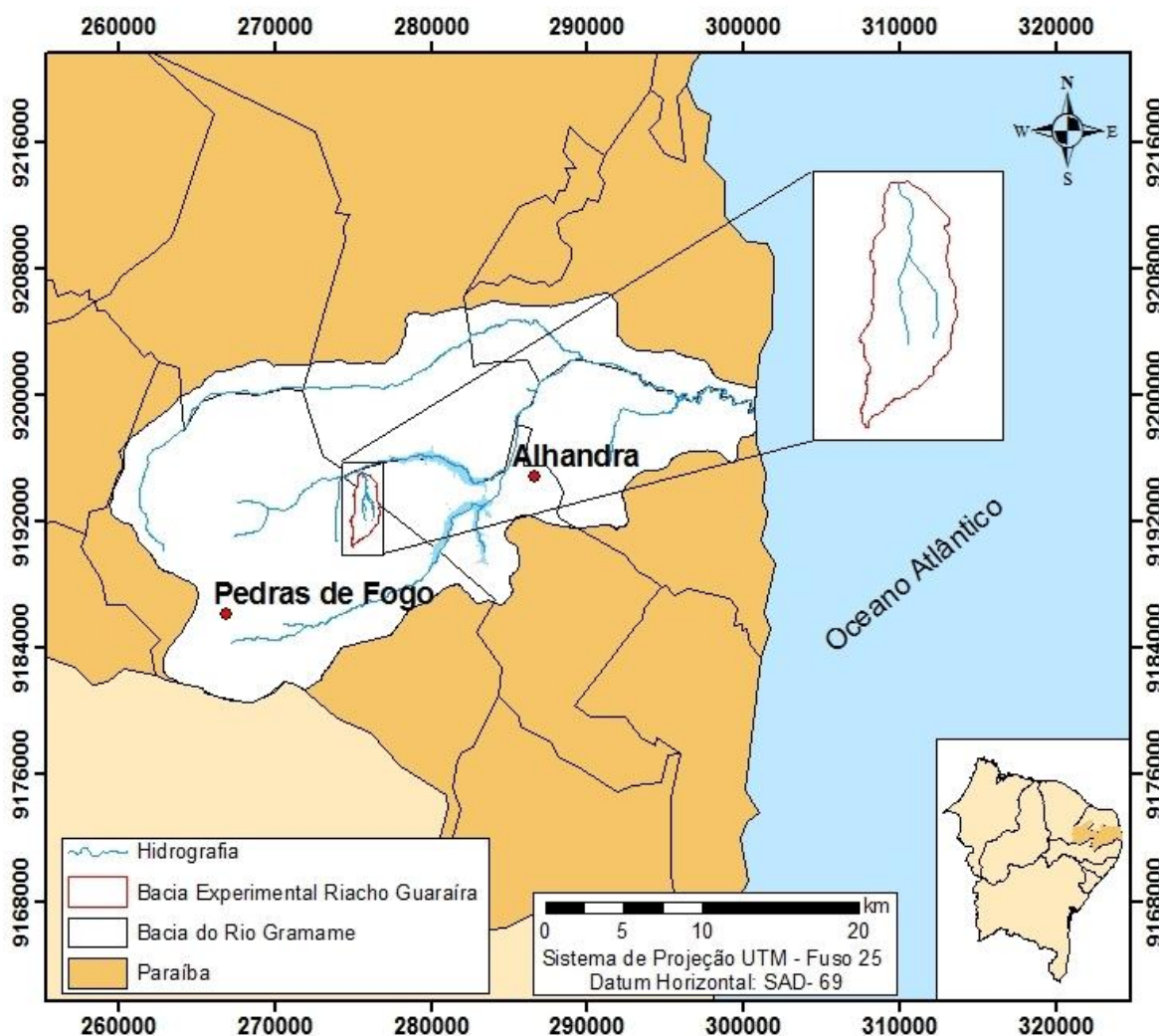
O método de avaliação mais utilizado e difundido de predição de perdas de solo é aplicando a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), desenvolvida nos Estados Unidos por Wischmeier e Smith (1978). No Brasil, os primeiros trabalhos empregando equação empírica foram desenvolvidos por Bertoni e Lombardi Neto (1985), no Estado de São Paulo. Outros estudos podem ser destacados estimando o Potencial Natural de Erosão (PNE), que considera apenas os fatores do meio físico na investigação da suscetibilidade erosiva. Como Pelá et al. (2006) que analisou a variabilidade espacial da erosão em áreas intensamente cultivadas em Monte Alto/SP e Carvalho et al. (2010) sobre o riscos de erosão na Bacia do Rio Passa Cinco/SP.

Na Paraíba podem ser citados Albuquerque et al. (2005) que aplicou a USLE para parcelas de erosão na Bacia Experimental de Sumé, e sobre a Bacia Guaraíra podem ser citados os trabalhos de Costa e Silva (2012) que aplicou as equações USLE e PNE para análise do potencial natural e antrópico erosivo da bacia e Costa et al. (2012), que utilizou a equação do PNE para análise das estimativas de perdas de solo e identificação das áreas mais suscetíveis a erosão.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Localização da Área de Estudo**

A Bacia Experimental do Riacho Guaraíra (Figura 1) está localizada em uma zona rural entre os municípios de Alhandra e Pedras de Fogo, pertence a Microrregião Litoral Sul do Estado da Paraíba, mais precisamente entre as coordenadas 9.191.000 mN a 9.195.000 mN e 275.000 mE a 276000 mE. Possui uma área de drenagem de 5,77 km<sup>2</sup> e atua como tributária da Bacia do Rio Gramame, uma das bacias mais importantes por ser a matriz fornecedora de água para os municípios de João Pessoa, Conde, Santa Rita, Bayeux e Cabedelo que compõem a Região Metropolitana denominada de Grande João Pessoa.



**Figura 1** – Localização da Bacia Experimental do Riacho Guaraíra.

As nascentes concentra-se no município de Pedras de Fogo, onde a população é de 27.034 habitantes, sendo que 16.360 estão reunidos em espaço urbano e 10.674 se concentram em espaço rural. Na porção norte está o município de Alhandra, cuja população total foi estimada em 18.001 habitantes, dos quais 11.146 se concentra em espaço urbano, e 6.855 em espaço rural (IBGE, 2010). Nos limites rurais as culturas temporárias predominam, a que mais se faz presente é a cana-de-açúcar. Essa cultura se destaca por ocupar 71% de área plantada, conforme dados do IBGE sobre a produção agrícola de 2006.

No processo histórico de formação do estado da Paraíba, essa cultura foi inserida tanto na faixa norte quanto na faixa sul da Zona da Mata Paraibana. Na década de 70 do século passado, com a instalação do Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL), criado

pelo governo brasileiro com o intuito de se defender da crise do petróleo que se instaurava naquela época. Sua comercialização ganhou grande impulso nesse período, ficando conhecido também como Revolução Verde (Moreira et al., 1997; Zoratto, 2006) caracterizado pela elevação dos níveis de produtividade em quase todas as culturas lavroeiras do país.

Apesar disso as despesas com fertilizantes também cresceram muito nesse período. Em 1970, elas perfaziam apenas 6,6% do total das despesas realizadas pelos estabelecimentos agrícolas, passando a representar 14,5% em 1985 (MOREIRA et al. 1997). A intensificação dessa prática agrícola como monocultura, não oferece cobertura vegetal eficiente ao solo, que fica desprotegido, podendo ocasionar a retirada do horizonte superficial pela ação das águas da chuva (BERTONI e LOMBARDI NETO 1985; GUERRA e CUNHA, 2011).

De acordo com dados levantados pela EMBRAPA em 2005, divulgados em 2006, o município de Pedras de Fogo foi um dos que mais se destacou no cultivo canavieiro no Estado da Paraíba com 28% de área colhida, seguido de Santa Rita, com 12%; Rio Tinto, com 8%; Juripiranga, com 7%; Cruz do Espírito Santo com 6%; Mamanguape, com 5% e Caaporã e o município de Alhandra que apresentaram apenas 4% de área colhida.

### **3.2 Aspectos Fisiográficos**

Na região o clima, segundo a classificação de Köppen, caracteriza-se por estar em uma zona As', o que indica um clima tropical chuvoso. O regime de chuvas ocorre principalmente nos meses de Maio, Junho e Julho, com precipitação média anual de 1615,45 mm/ano. Os tipos de vegetação encontrados foram de Cerrado e Mata, sendo que a vegetação Cerrado predomina. Foram encontradas partes de Floresta Subcaducifólia e Floresta Subperenifólia (Mata Atlântica), esta última concentrada nas áreas próximas as margens do rio.

Sua formação geológica pertence à Formação Barreiras, constituída basicamente por sedimentos areno-argilosos mal consolidados (BARBOSA et al., 2012). Inserida na Unidade Geoambiental dos Tabuleiros Costeiros, apresenta altitude variando de 30 a 150 metros. Os tipos de solo presentes são o Argissolo Vermelho Amarelo (PV19) e o Podzol Hidromórficos (HP). De acordo com a classificação de solos da EMBRAPA (2006), os tipos Argissolo Vermelho Amarelo são solos constituídos por material mineral com argila

de atividade baixa ou argila de atividade alta desde que conjugada ao caráter alumínico e/ou à saturação por bases  $< 50\%$  e horizonte B textural. Já o Podzol Hidromórfico compreende solos com horizontes B podzol (espódico), são fortemente ácidos, com em geral inferior a 4,0 e possui baixa fertilidade natural. Ambos solos têm uma considerável resistência à erosão, sendo que o tipo Podzol Hidromórfico é ainda mais resistente aos processos erosivos.

### 3.3 Utilização de Geotecnologias na análise do Uso e Ocupação do Solo

Para análise temporal do uso e ocupação do solo da Bacia Guaraíra foi realizado primeiramente a digitalização da carta topográfica da SUDENE do Rio Mamuaba de 1974 (SB-25-Y-C-II-4-NE), na escala 1: 25.000. Seu processo de delimitação manual da bacia hidrográfica foi desenvolvido utilizando as curvas de nível da carta topográfica e exportadas para o *software* SIG ArcGIS 9.3 onde foram armazenadas.

Para o ano de 2012, a partir das técnicas de Sensoriamento Remoto e da ferramenta *Google Earth* 6.0.2 realizou-se a extração digital das imagens orbitais do satélite *Quickbird* e sensor *GeoEye* e através do *software* ArcGIS foram ajustadas e armazenadas em no formato de banco de dados juntamente com os arquivos do ano de 1974.

O passo seguinte foi realizar o processo de vetorização em tela. De acordo Fitz (2008), esse processo é realizado por meio da identificação visual em tela de computador, utilizando uma imagem previamente tratada, a qual será desenhada com auxílio de um mouse com. Por meio das representações matemática da distribuição dos fenômenos espacial existentes criaram-se estruturas de representação, onde os valores dos atributos foram obtidos por procedimentos de interpolação a partir do conjunto de amostras do Modelo Digital de Elevação (MDE). Tendo em vista que a topografia do terreno da bacia é responsável pela drenagem da água da chuva e os limites encontram-se nas partes mais altas do relevo, delimitou-se a bacia seguindo as curvas de nível de maior cota, simulando o trajeto das águas.

Os dados para compor o MDE foram extraídos de imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM, com resolução espacial de 30 metros. Em seguida as classes foram fotointerpretadas manualmente em tela, proporcionando o agrupamento das mesmas. Segundo Florenzano (2007) esse método de interpretar fotografias ou imagens orbitais é identificar objetos nelas representados e dar um significado a esses objetos. Quanto maior



for a resolução, e mais adequada a escala, mais direta e fácil é a identificação dos objetos em uma imagem. Essas imagens orbitais além possibilitarem a fotointerpretação, tiveram grande importância nos mapeamentos, pois permitiram analisar as classes que pertenciam aos usos mais recentes da Bacia Guaraíra. As informações foram dispostas como atributos em diferentes camadas temáticas e armazenadas de forma independente, o que contribuiu para que fosse possível trabalhar com essas informações espaciais de maneira rápida e fácil, reunidas em uma única base de dados e projeção.

Desta forma foi possível fazer o cruzamento e análise de todo o conjunto de variáveis no estudo, envolvendo desde as características físicas da área, como também a dinâmica relacionada à ação antrópica. Desta forma foi possível realizar a comparação temporal e espacial dos tipos de uso e ocupação da bacia.

### 3.4 Aplicação dos Métodos Empíricos USLE e PNE

A análise histórica das perdas de solo na Bacia Experimental do Riacho Guaraíra foi realizada aplicando a Equação Universal de Perda de Solo de Wischmeier e Smith (1978), que utiliza os fatores que exercem influência na área de estudo (Equação 1). O cálculo foi realizado totalmente em ambiente SIG a partir de técnicas de geoprocessamento.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1),$$

sendo A as perdas de solo (t/ha/ano), R o fator de erosividade (Mj.mm/ha/h/ano), K o fator de erodibilidade dos solos (t.h/Mj/mm), LS (fator topográfico) e os fatores adimensionais C e P (uso do solo e práticas conservacionistas, respectivamente). Desses fatores foram gerados mapas temáticos, que serviram de base para análise das perdas de solo e identificação das áreas mais suscetíveis aos processos erosivos.

Em relação a análise dos condicionantes naturais da bacia, foi aplicado o PNE (Potencial Natural de Erosão), que de acordo com Brandão (2001) a equação empírica PNE expressa a suscetibilidade de determinada área à erosão indicando onde ocorre a maior ou menor suscetibilidade a erosão, sem considerar os fatores antrópicos, aplicando os que se referem as condições naturais do clima (R), solo (K) e do relevo (LS), conforme é apresentado na Equação 2. Das informações espaciais obtidas foram geradas diferentes

camadas de dados, o que permitiu calcular e gerar o mapa do Potencial Natural de Erosão da bacia.

$$PNE = R \times K \times LS \quad (2),$$

sendo PNE a Perda Natural de Erosão (t/ha/ano), R o fator de erosividade (Mj.mm/ha/h/ano), K o fator de erodibilidade dos solos (t.h/Mj/mm) e LS o fator topográfico.

### 3.4.1 Fator R (Erosividade)

O Fator R é um índice numérico que expressa a capacidade da precipitação em causar erosão em uma área sem proteção (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985), mostrada na Equação 3.

$$R = \sum_{i=1}^{12} 89,823 \left( \frac{P_m^2}{P_a} \right)^{0,759} \quad (3),$$

sendo R o fator de erosividade (MJ.mm/h/ha), P<sub>m</sub> precipitação média mensal (mm) e P<sub>a</sub> a precipitação média total anual (mm). Nessa equação foram utilizados dados pluviométricos obtidos de três postos de coleta que estão localizados nas proximidades da bacia, apresentados na Tabela 1. Os dados extraídos e que foram possíveis de obter foram de levantamentos diários 1969 a 1989. Esses dados foram interpolados utilizando o método do Inverso do Quadrado da Distância (IDW). Esse método de interpolação global se baseia no princípio de que quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores.

**Tabela 1** – Localização e Período de dados das Estações Pluviométricas utilizadas

Postos	Latitude (m)	Longitude (m)	Período dos dados
Fazenda Mamuaba	9.196.187	276.378	1969–1989
Imbiribera	9.196.257	273.659	1969–1989
Riacho do Salto	9.190.734	275.524	1969–1989

### 3.4.2 Fator K (Erodibilidade do Solo)

O fator erodibilidade pode ser definido como a susceptibilidade do solo a erosão. Esse fator foi obtido por meio da associação do mapa de solos da EMBRAPA (2006) e da atribuição de valores de erodibilidade correspondentes a cada classe de tipos de solo, conforme o método proposto por Farinasso (2006). Nesse sentido a Tabela 2 mostra os valores de erodibilidade encontrados para cada um dos tipos de solo presentes na bacia.

**Tabela 2** – Solos e respectivos valores de Erodibilidade da bacia

<b>Classes</b>	<b>Tipos de Solo</b>	<b>Erodibilidade (t.h/Mj/mm)</b>
Pv19	Argissolo Vermelho Amarelo	0,044
HP3	Podzol Hidromórfico	0,014

### 3.4.3 Fator LS (Fator Topográfico)

O fator topográfico utiliza para o cálculo o fator comprimento de vertente contendo em sua formulação o fluxo acumulado. Esse fator é representado pelos parâmetros de comprimento da encosta e o grau de declividade, o método equacional utilizado foi o desenvolvido por Moore e Burch (2006) e utilizada por Zhang et al. (2009).

$$LS = \left( \frac{V}{22,13} \right)^{0,4} \left( \frac{\sin \theta}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (4),$$

sendo V a acumulação de fluxo pelo tamanho da célula e  $\theta$  o ângulo da declividade em graus.

### 3.4.4 Fatores C E P (Uso do Solo e Práticas Conservacionistas)

O fator uso do solo expressa a relação esperada entre perdas de solos em áreas com culturas agrícolas e vegetação, com áreas continuamente descobertas. Utilizando dados físicos característicos da área e adimensionais.

Quanto o fator práticas conservacionistas, expressa uma relação entre a intensidade de perdas de solo com uma determinada prática conservacionista e as perdas quando a cultura esta plantada no sentido do declive, ou seja, morro abaixo. Os valores para os dois fatores foram estipulados adotando os encontrados na literatura, onde estes foram integrados, uma vez que houve dificuldades em tabular tais informações.

### **3.5 Levantamento em Campo**

Na área de estudo foram realizados registros fotográficos, anotações dos indícios de processos erosivos e de outros eventos correlatos na bacia. Essa análise visual foi utilizada para diagnosticar o quadro fisiográfico atual da bacia.

Na caracterização de paisagem, como mostra a Figura 2, foi empregada a metodologia proposta por Bertrand (1972) na identificação geossistêmica dos temas da bacia. Esses temas tratados foram os tipos vegetais gerais, tipos de solo, características topográficas do relevo e de processos erosivos. Esse último foi verificado se a remoção de vegetação ao longo do percurso do rio contribui para que o escoamento superficial das águas pluviais se dê de maneira mais agressiva e na formação de sulcos que mais tarde darão origem a desgastes do solo.

Com base nesse procedimento, as observações em campo serviram para análise da evolução do uso e ocupação do solo na paisagem da área de estudo, apreciando principalmente a intervenção antrópica. Como instrumento de localização e de informação sobre a área, foi utilizado neste trabalho o GPS Garmin eTrex H pessoal, com o intuito de permitir um cruzamento das informações espaciais em coordenadas UTM com os dados coletados.



**Figura 2** – Levantamento das feições da paisagem na área da bacia.

### **3.6 Criação de Banco de Dados**

Foi criado um banco de dados em ambiente SIG capaz de reunir, organizar e armazenar os atributos geologia; tipos de solo; uso e ocupação do solo; e as resultantes dos produtos cartográficos. Além disso, a ferramenta SIG possibilitou separar as informações em diferentes camadas temáticas e armazená-las de forma independente, o que contribuiu para que fosse possível trabalhar com elas de maneira rápida e fácil.

Para Vieira e Tagliani (2001) com as informações disponíveis em um banco de dados, é possível o planejamento de qualquer tipo de uso dos recursos naturais e de administração de áreas urbanas e rurais, considerando as exigências e restrições inerentes a cada caso e apresentando o resultado em qualquer escala. Deste modo é possível interrelacionar diversos planos de informação através de operações matemáticas com mapas, gerando informações secundárias que atualizam o Banco de Dados Geográfico continuamente. Partindo disso, pode-se realizar a comparação temporal e espacial no processo dos dois anos estudados. Ao final deste levantamento, as informações coletadas possibilitarão a construção de um Sistema Geográfico de Base de Dados – SGBD, o qual poderá servir de base nas aplicações de gestão de recursos hídricos na bacia.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapeamento temporal dos tipos de uso e ocupação de 1974 e 2012 e a estimativa das perdas de solo na Bacia Experimental do Riacho Guaraíra possibilitou na produção de mapas temáticos de Erosividade, Erodibilidade, Topografia, Uso e Ocupação do solo e Práticas Conservacionistas e na análise das áreas mais suscetíveis a erosão, dos quais se obteve os mapas de perdas de solo para os anos de 1974 e 2012 e do Potencial Natural de Erosão. Para a análise do PNE foram utilizados os fatores físicos que exercem influência na bacia (R, K, LS), a partir dos quais se realizou a espacialização das estimativas de perda de solo.

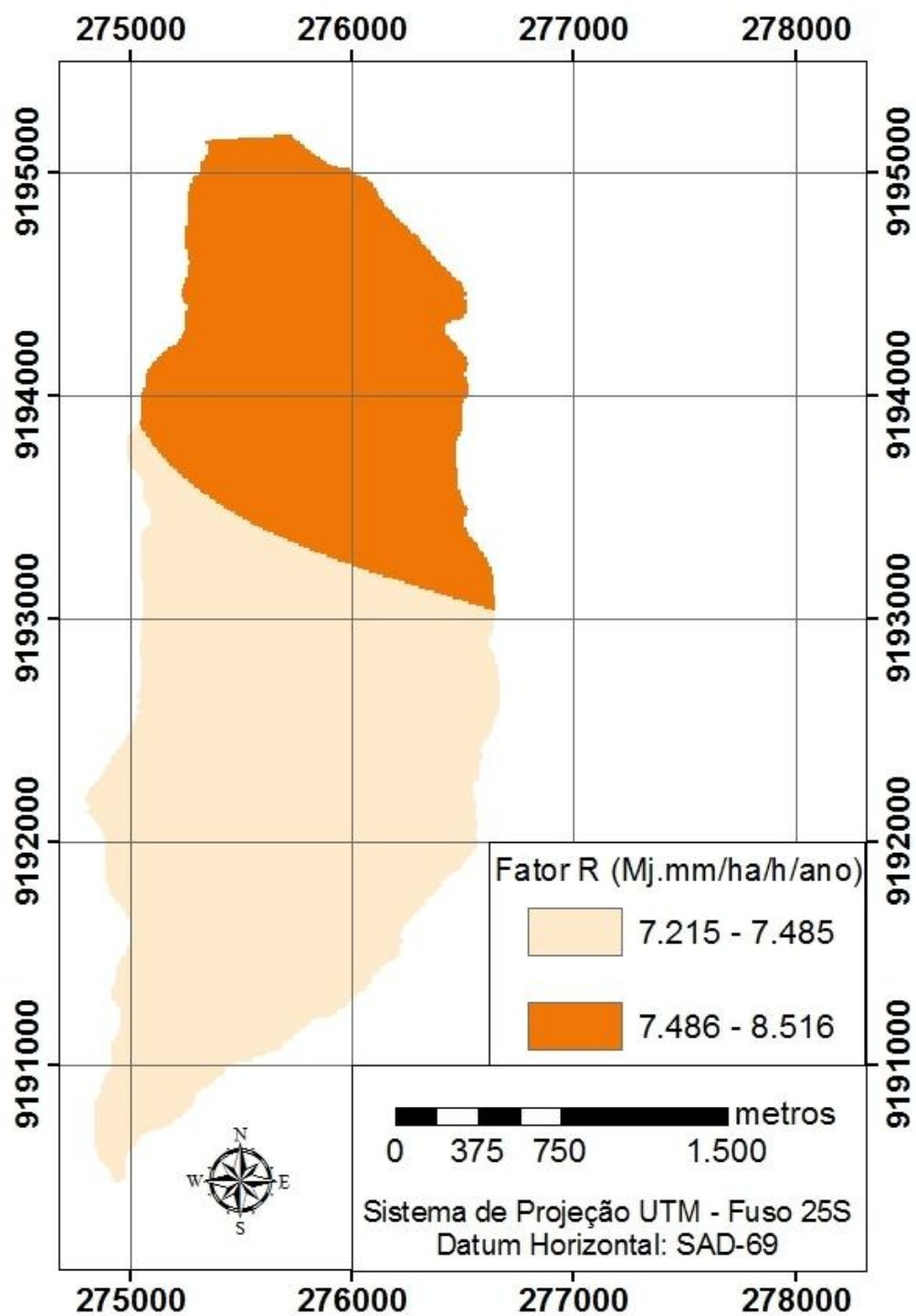
### 4.1 Erosividade

Os resultados da análise da erosividade das chuvas (fator R) na bacia revelam que o valor médio anual para a área foi de 7.739 Mj.mm/ha/h/ano, com um desvio padrão de 686,44 Mj.mm/ha/h/ano. As estimativas apresentaram uma variação de 7.485 a 8.516 Mj.mm/ha/h/ano. Baseado na classificação propostas por Carvalho (2008), os valores estimados de erosividade foram dispostos em classes de erosividade e fragilidade, como pode ser visto na Tabela 3. Os resultados revelam que para a classe de 7.215 a 7.485 Mj.mm/ha/h/ano a fragilidade foi considerada como média forte, já a classe de 7.486 a 8.516 foi considerada como alta.

<b>Tabela 3 – Relação entre a Erosividade e Fragilidade de solos da bacia</b>	
<b>Classes de erosividade (Mj.mm/ha/h/ano)</b>	<b>Classes de fragilidade</b>
7.215 - 7.485	Média Forte
7.486 - 8.516	Alta

Fonte: Adaptado de Carvalho (2008).

No mapa da Figura 3 está a espacialização da concentração das chuvas na bacia. Em sua porção norte do mapa a bacia apresenta a maior concentração, onde se observa que a erosividade na região em direção à foz, alcançando os valores superiores a 7.600 Mj.mm/ha/h/ano.



**Figura 3** – Mapa da Erosividade da Bacia Experimental do Riacho Guaraíra.

## 4.2 Erodibilidade

A partir dos tipos de solo da bacia realizou-se a associação com os valores de erodibilidade de solos utilizados na metodologia. Com os valores do fator k associados aos solos existentes, foi verificada a suscetibilidade de cada solo. Os valores de erodibilidade encontrados revelam que o tipo Argissolo Amarelo vermelho (classe Pv19) apresenta maior valor com 0,044 t.h/Mj/mm, enquanto que o tipo Podzol Hidromórfico (classe HP3) apresenta menor valor com 0,014 t.h/Mj/mm.

Nesse sentido, as análises dos resultados sobre o Fator K verificou-se que o tipo de solo Argissolo Vermelho Amarelo apresenta uma suscetibilidade erosiva superior em relação ao tipo de solo Podzol Hidromórfico. Na tabela 4 mostra a área ocupada para cada tipo de solo, onde o tipo Argissolo Vermelho Amarelo prevalece ocupando a maior parte da bacia com 4,68 km<sup>2</sup> de área, enquanto que o Podzol Hidromórfico ocupa apenas 1,09 km<sup>2</sup> da bacia.

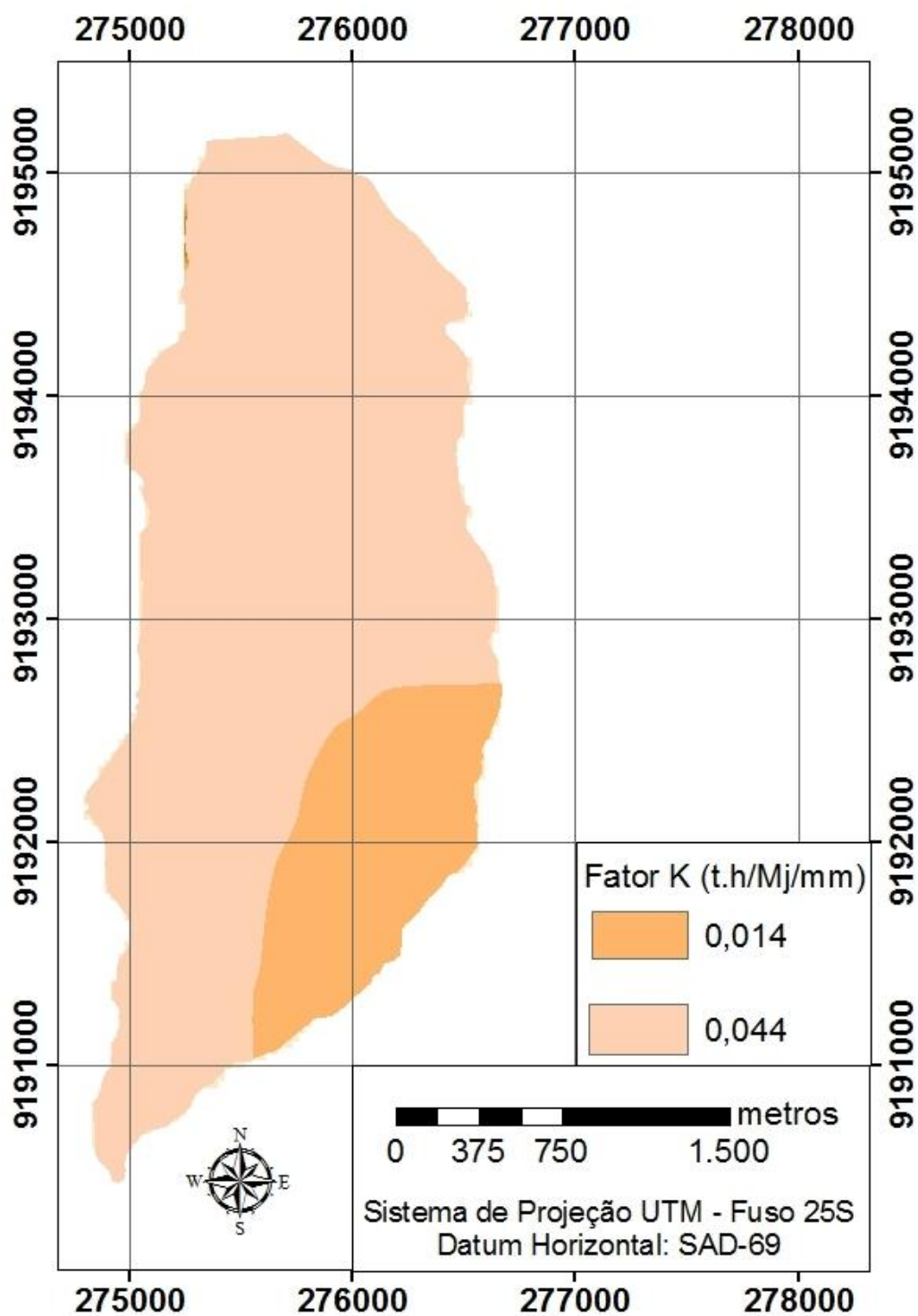
**Tabela 4 – Área ocupada por cada tipo de solo em km<sup>2</sup> e percentual**

<b>Tipos de Solo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Argissolo Vermelho Amarelo	4,68	81,10
Podzol Hidromórfico	1,09	18,09

No tipo Argissolo o provável motivo para explicação desse fato é a maior concentração de partículas de argila nos constituintes desses materiais. A infiltração da água é muito rápida na superfície e lenta em maiores profundidades. Quanto ao Podzol, com sua textura arenosa drena menos água.

Na espacialização dos valores do fator k dos solo encontrados é possível verificar espacialmente os resultados da quantificação das áreas ocupadas por cada um na Figura 4, onde o Argissolo Vermelho Amarelo ocupa quase que toda extensão da bacia, enquanto que o tipo Podzol Hidromórficos ocorre apenas na porção sudeste.





**Figura 4** – Mapa de Erodibilidade de Solos da Bacia Experimental do Riacho Guaraíra.

### 4.3 Topográfico

Os resultados do cálculo do fator topográfico (LS), conforme a Tabela 5, demonstraram que os menores valores compreendem a classe que varia de 0 a 1,048, esta classe ocupa uma área de 4,71 km<sup>2</sup>, o que representa 80,7% da bacia. Já os maiores valores variaram de 11 a 23,7, o que corresponde a 0,03 km<sup>2</sup>, ou seja, apenas 0,5% da área total da bacia.

**Tabela 5** – Classes do Fator Topográfico na bacia

Classe de LS	Área (km <sup>2</sup> )	%
0 – 1,048	4,71	80,7
1,049 – 2,933	0,56	9,6
2,933 – 5,446	0,30	6,3
5,447 – 11,002	0,17	3,0
11,003 – 23,745	0,03	0,5

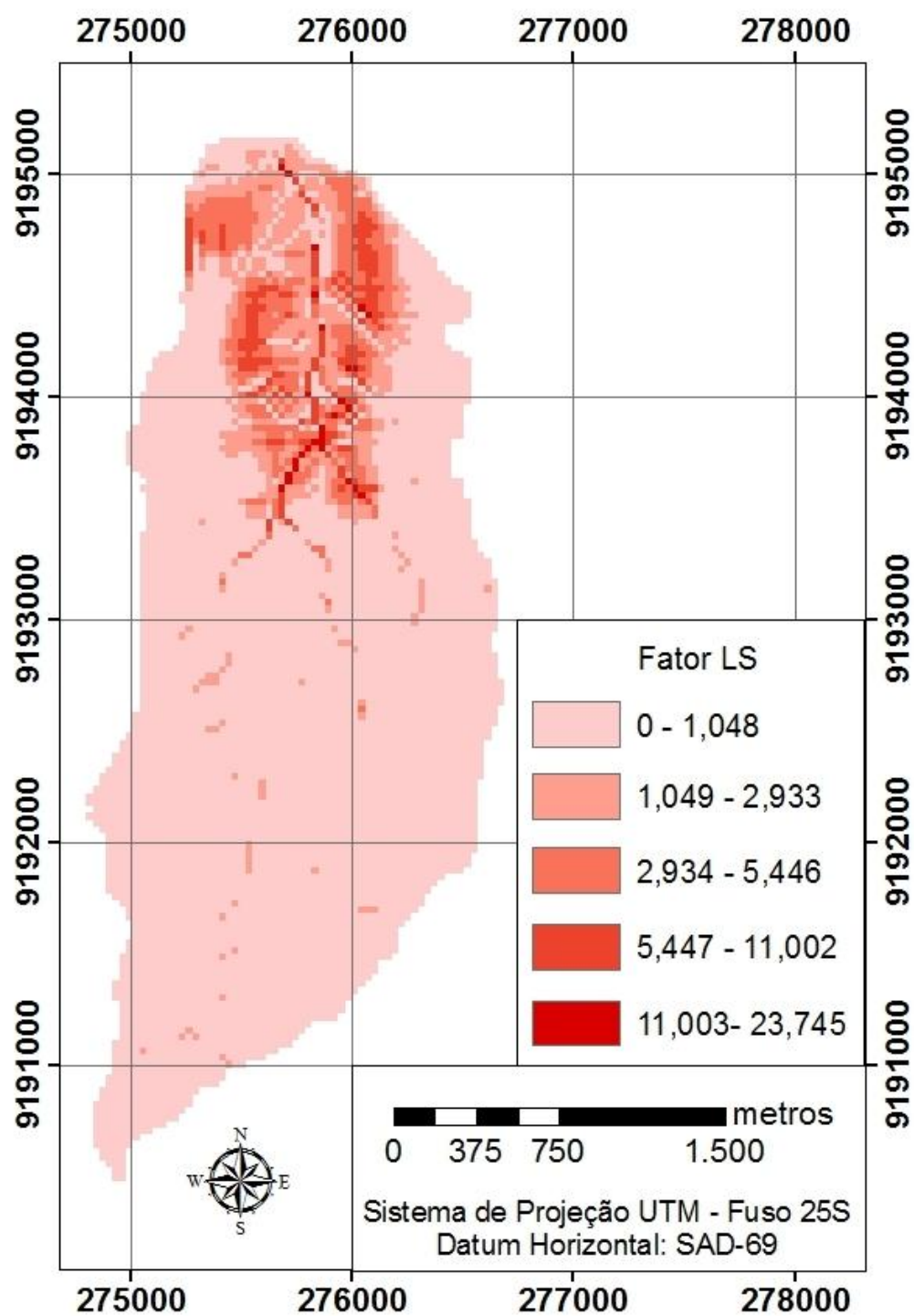
Dos resultados obtidos do fator LS fez-se uma distribuição entre as classes de relevo classificado em plano, suavemente ondulado e ondulado, uma vez que a bacia não apresenta grandes variações no terreno. Na tabela 6 estão distribuídas as classes de acordo com o tipo de relevo e sua área, na qual é possível observar um predomínio da classe de 0 a 3,3 caracterizada por relevo plano ocupando 4,67 km<sup>2</sup> (81%), o que confirma que a bacia não apresenta grandes oscilações de relevo,. Além disso, é possível verificar que as áreas de maiores amplitude do LS.

**Tabela 6** – Distribuição das declividades por relevo e áreas correspondentes

Declividade	Relevo	Área (km <sup>2</sup> )	%
0 – 3,3	Plano	4,67	81
3,4 – 8,7	Suavemente ondulado	0,64	11,1
8,8 – 12,3	Ondulado	0,46	7,9

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2006).

Desses resultados e das associações feitas com base nas formas do terreno pode-se analisar que nas áreas onde há convergência de acumulação de fluxo, ou seja, onde os sedimentos se acumulam e nas áreas onde as declividades são mais acentuadas, o valor de LS tendeu a ser maior. Na espacialização do fator topográfico verificou-se que as classes cujos valores foram mais expressivos, localizam-se na porção norte da bacia, em áreas íngremes próximas ao curso do rio, como mostra a Figura 5.



**Figura 5** – Mapa do Fator LS para a Bacia Experimental do Riacho Guaraíra.

#### 4.4 Usos do Solo e Práticas Conservacionistas

Conforme o diagnóstico dos tipos de uso das terras da bacia e a caracterização do meio físico contendo o uso atual e a determinação da capacidade de uso das terras, além da identificação as áreas utilizadas com prejuízo potencial ao ambiente e aquelas subutilizadas.

A partir dessas informações foram classificados os tipos de uso do solo encontrados, depois transformados em polígonos vetoriais de formato shapefile, atribuindo a cada polígono um valor concernente de uso do solo utilizando os valores encontrados na literatura e aplicando a metodologia proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1985). Os valores são adimensionais e estão descritos na Tabela 7.

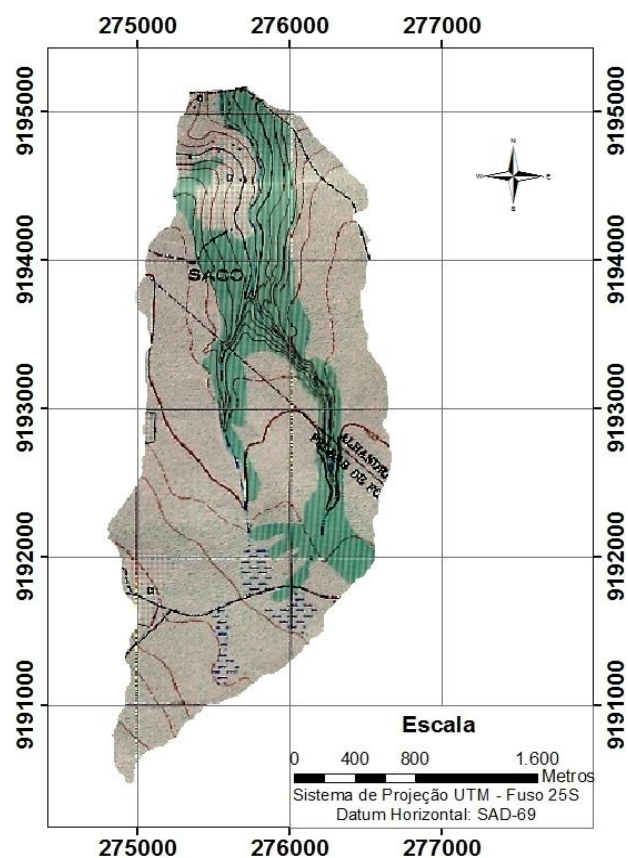
**Tabela 7 – Usos do Solo na bacia e respectivos valores dos Fatores C e P**

Usos do solo	Fatores C e P
Cana-de-açúcar	0,0012
Cerrado	0,01
Mata	0,019
Solo Exposto	1,0

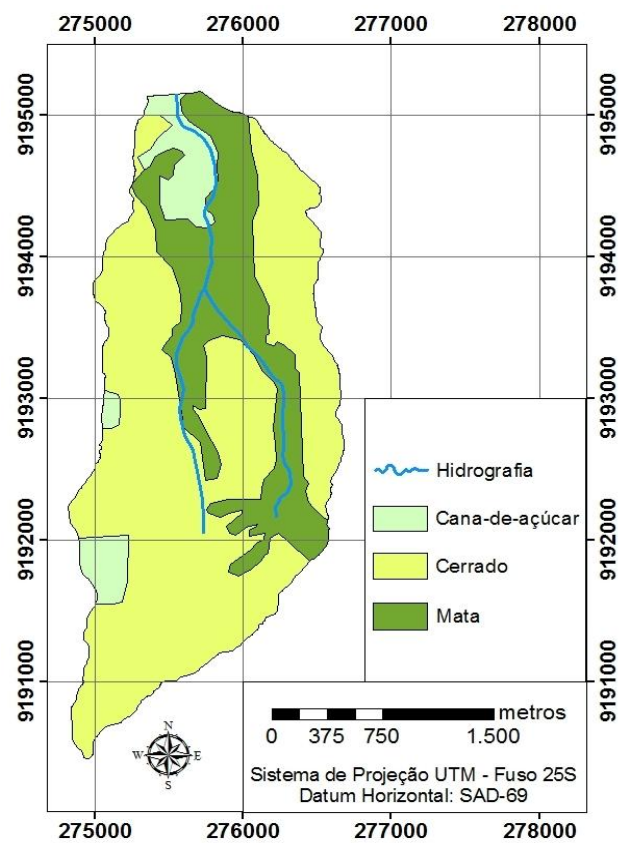
Fonte: Adaptado de Bertoni e Lombardi Neto (1985).

O mapa da Figura 6 apresenta a área recorte da bacia do ano de 1974 com as informações de usos de solo e elementos visíveis que existiam na época, como traçado do relevo, tipos de uso do solo, tipos de vegetação, etc. Resultado da verificação dessas informações temáticas no recorte da Carta Topográfica, a Figura 7 apresenta esses elementos como a cultura de cana-de-açúcar, a vegetação do tipo cerrado e partes de mata ciliar.

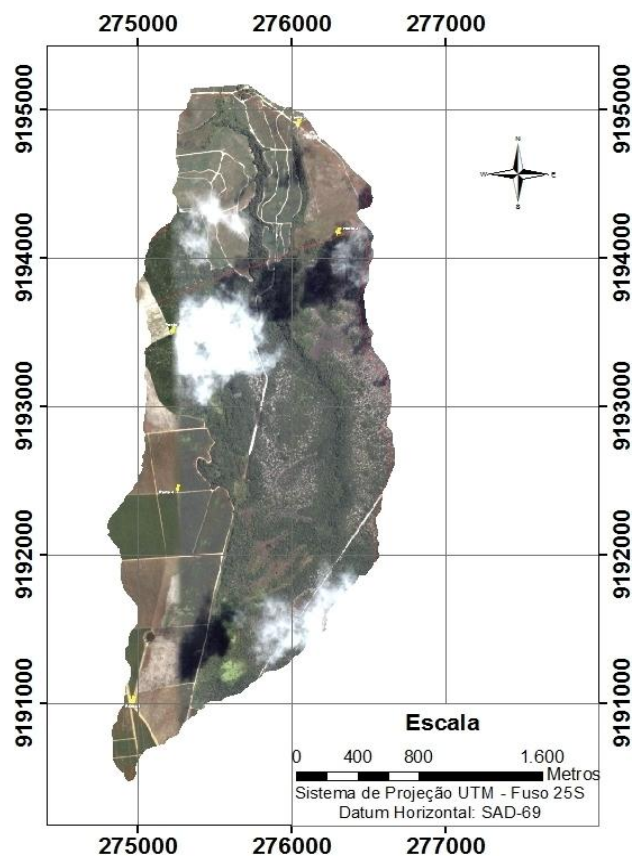
Já a Figura 8, reproduzida a partir da imagem do satélite *GeoEye*, corresponde a área recorte do ano de 2012, representando o cenário atual da bacia. Os tipos de uso e ocupação encontrados pelas técnicas de Sensoriamento Remoto e verificadas em campo foram cana-de-açúcar, cerrado, mata e solo exposto. Essas classes identificadas e mapeadas em 2012 são apresentadas na Figura 9.



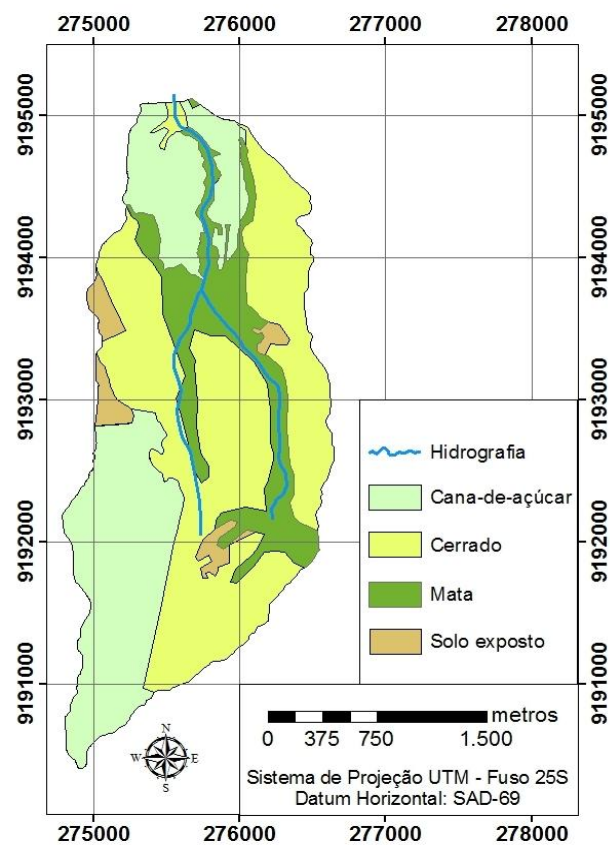
**Figura 6** – Recorte da Carta Topográfica de 1974 com a área da bacia.



**Figura 7** – Tipos de Uso e Ocupação dos Solos em 1974.



**Figura 8** – Recorte da imagem do Satélite *GeoEye* de 2012 contendo a bacia.



**Figura 9** – Tipos de Uso e Ocupação dos solos em 2012.



#### 4.5 Evolução do Uso e Ocupação do Solo

Na análise temporal do uso e ocupação do solo na bacia verificou-se que a monocultura cana-de-açúcar, predominante na bacia, aumentou seu quantitativo de área significativamente em comparação com o mapeamento dos tipos de usos e ocupação de 1974. Apesar disso, a vegetação próxima ao curso do rio resiste com seus resquícios. As atividades como o cultivo da mandioca, abacaxi, coco e inhame têm forte presença no entorno, em fazendas próximas ao reservatório Gramame-Mamuaba, mas que não foram encontradas dentro dos limites da bacia. Na Figura 10 são mostrados os tipos de uso e ocupação encontrados atualmente na área da bacia.



(a) Cana-de-açúcar



(b) Cerrado



(c) Hidrografia



(d) Solo exposto

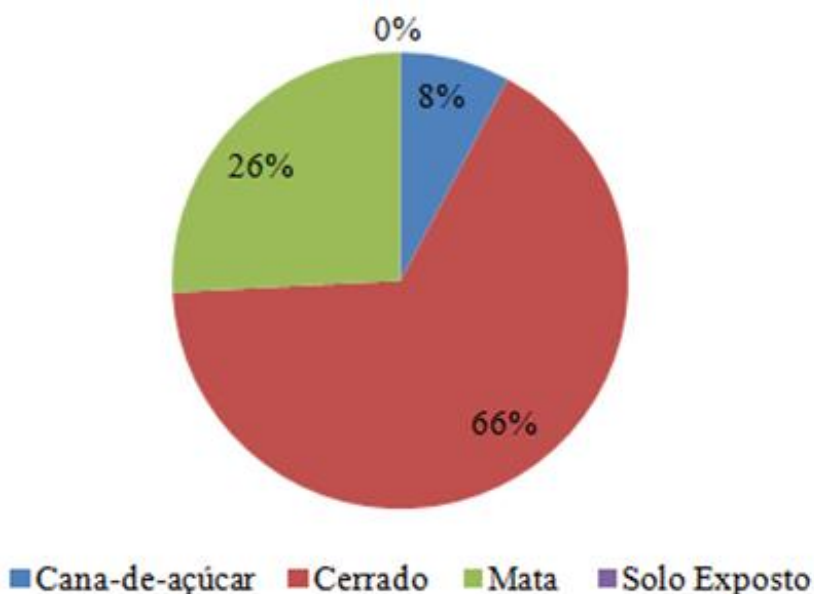
**Figura 10** – Tipos de Uso e Ocupação encontrados na Bacia Experimental do Riacho Guaraíra.

Na Tabela 8 e nas Figuras 11 e 12 são apresentados os resultados da quantificação das classes de uso de solo mapeadas. Com base nessas informações é possível analisar que a composição vegetal representada pelas classes mata e cerrado recobriam juntas uma área bastante considerável da bacia em 1974, representando 5,30 km<sup>2</sup> (92,5%) da área total. Já em 2012, as classes mata e cerrado, juntas, ocupam atualmente uma área de 3,64 km<sup>2</sup> (63,1%).

Quanto a classe solo exposto foi observado o seu aparecimento apenas para o ano de 2012 ocupando 0,22 km<sup>2</sup> (3,81%), tal ocorrência estão relacionadas à ausência total da cobertura vegetal por ação erosiva ou com áreas preparadas para o plantio da cultura cana-de-açúcar.

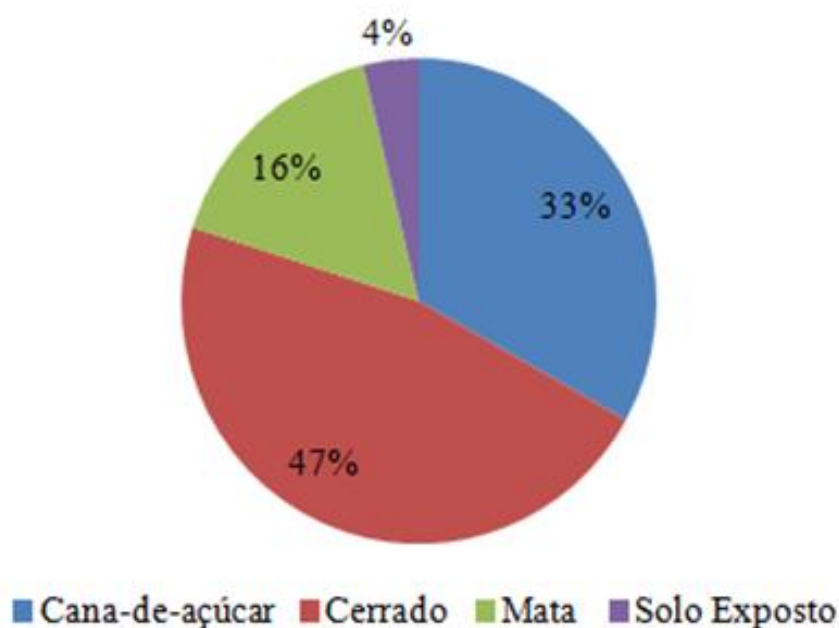
**Tabela 8** – Uso e Ocupação do Solo dos anos de 1974 e 2012 em km<sup>2</sup>

Classe	1974		2012	
	Área (km <sup>2</sup> )	%	Área (km <sup>2</sup> )	%
Cana-de-açúcar	0,45	7,5	1,91	33,1
Cerrado	3,83	66,8	2,70	46,8
Mata	1,49	25,7	0,94	16,3
Solo Exposto	–	–	0,22	3,8
<b>TOTAL</b>	<b>5,77</b>	<b>100,0</b>	<b>5,77</b>	<b>100,0</b>



**Figura 11** – Percentual das Classes de Uso e Ocupação de Solos em 1974.





**Figura 12** – Percentual das Classes de Uso e Ocupação de Solos em 2012.

#### 4.6 Perdas de Solo aplicando a USLE

Os resultados obtidos das perdas de solo da bacia foram distribuídos em 6 classes de perda de solo conforme é apresentado na Tabela 9. Nela, é possível verificar que os intervalos variaram de 0 a 50 ton/ha/ano, tanto para o período de 1974 quanto para o de 2012.

No que se refere às perdas de solo para o ano de 1974 os resultados sugerem que a produção de sedimentos representada pela classe de 0 a 5 t/ha.ano compreendia quase toda bacia, ocupando uma área de 92 %, enquanto que a classe até 50 t/ha/ano tinha uma produção de sedimentos referente a uma área de apenas 0,15 %. Para o ano de 2012 houve um aumento considerável na produção de sedimentos no que se refere à classe com perdas de solo até 50 t/ha/ano, correspondendo a 5,6 % da bacia.

Ao relacionar os mapeamentos realizados do uso e ocupação dos solos da bacia com os resultados das perdas de solo dentro de uma análise evolutiva, verificou-se que houve um aumento em 5 vezes da classe até 50 t/ha/ano de 1974 em comparação a 2012. Isso pode ter um conexo com o aumento do desmatamento em faixas que possuem declividades mais acentuadas, próximas ao curso do rio que corta a bacia.

**Tabela 9** – Perdas de Solo de 174 E 2012 por área ocupada

Classes (t/ha.ano)	1974		2012	
	Área (km <sup>2</sup> )	%	Área (km <sup>2</sup> )	%
0 -5	5,27	91,9	4,95	86,6
6- 10	0,15	2,4	0,19	3,2
11- 15	0,11	1,7	0,16	2,4
16 - 20	0,09	1,6	0,12	2,2
até 50	0,15	2,5	0,35	5,6

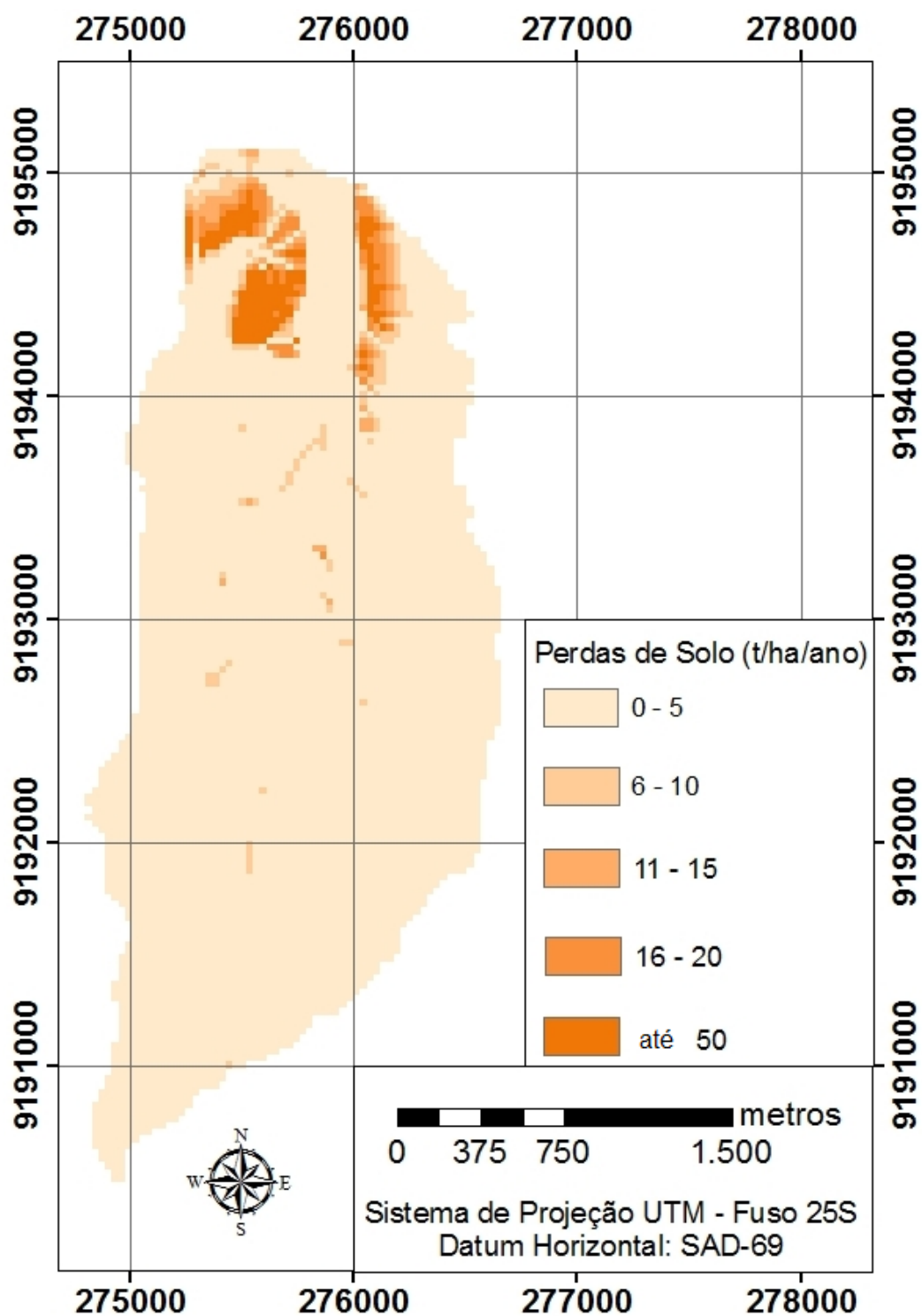
Com relação às perdas de solos segundo os tipos de solos, verificou-se que as maiores perdas ocorrem onde estão presentes os solos Argissolo Vermelho Amarelo e onde também se concentra a classe cana-de-açúcar. Na porção onde se encontra o tipo Podzol Hidromórfico os maiores valores de perdas de solo foram encontrados nas áreas com solos expostos somente para o período de 2012. Ao analisar os resultados dos dois períodos e baseando-se na classificação de FAO (1967), conforme a Tabela 10, os valores de perdas de solo na bacia foram considerados de baixos a moderados.

**Tabela 10** – Perda de Solo por Grau de Erosão

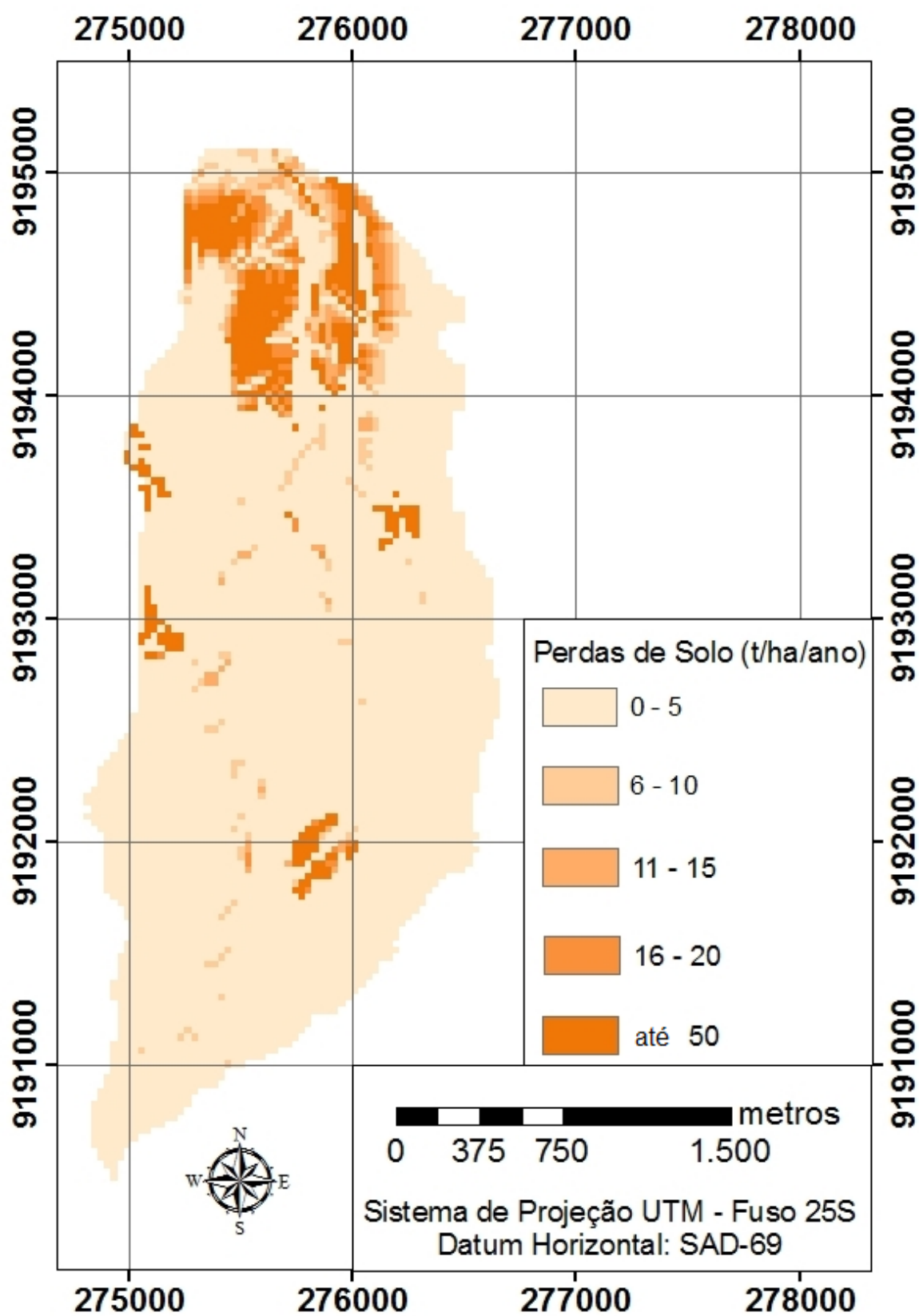
Perda de solo (t/ha.ano)	Grau de erosão
< 10	Baixo
10 – 50	Moderado
50 – 200	Alto
> 200	Muito alto

Fonte: Adaptado de FAO (1967).

Nas Figuras 13 e 14 é apresentada a distribuição espacial das perdas de solo da bacia Guaraíra nos dois anos estudados. Na espacialização das classes verificou-se que as altas perdas de solo (acima de 20 ton/ha/ano), concentraram-se nas regiões com cana-de-açúcar e solo exposto. Esses setores são potencialmente mais suscetíveis aos processos de erosão, devido o conjugado das características erosividade, erodibilidade, e declividade, além disso, tem o agravamento da influência da ação antrópica com o cultivo da cana nessas parcelas.



**Figura 13** – Mapa das Perdas de Solo em 1974 pelo Método USLE.



**Figura 14** – Mapa das Perdas de Solo em 2012 pelo Método USLE.

#### 4.7 Potencial Natural de Erosão da bacia

Os produtos calculados a partir da USLE (erosividade, erodibilidade e de relevo da bacia), sendo estes os fatores físicos da bacia, serviram como base da equação do PNE. Em seguida seus resultados foram classificados por intervalos de classes de PNE e relacionados às suas respectivas áreas ocupadas como pode ser observado na Tabela 11.

**Tabela 11** – Intervalos de Classes de PNE da bacia e respectivas áreas

Classe	PNE (ton/ha/ano)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Baixo	0 - 500	4,80	83,7
Médio	501 - 1.500	0,63	11,0
Alto	1.501 - 3.500	0,28	4,8
Muito Alto	3.501 - 8.200	0,03	0,5

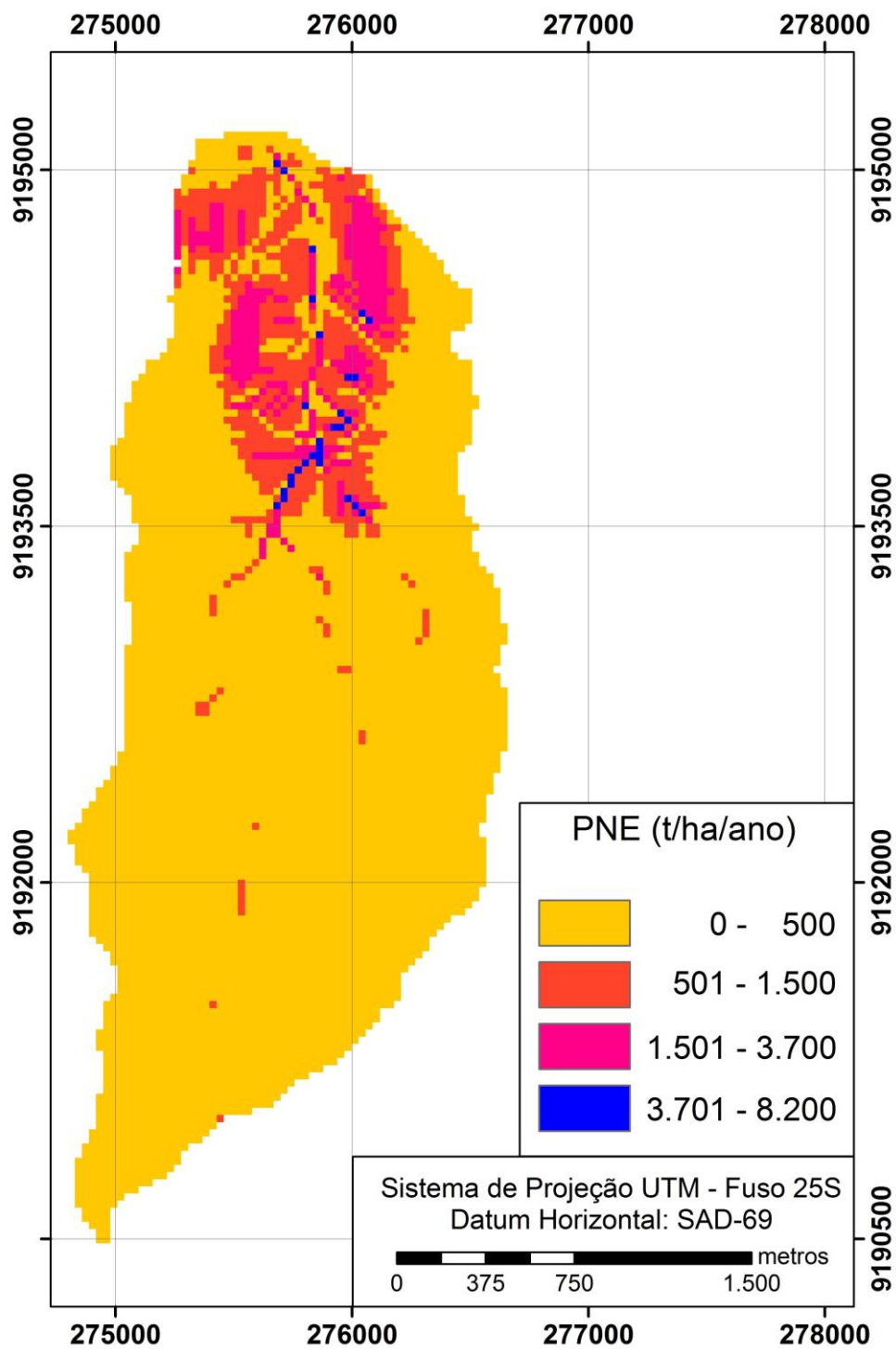
Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2010).

Os valores da classe 0 a 500 ton/ha/ano representam 83,7% de área ocupada na bacia, enquanto que a classe de 3.701 a 8.200 ton/ha/ano representa 0,5%. Esses resultados demonstram que a Bacia Experimental do Riacho Guaraíra apresentou em sua maior parte Potencial Natural de Erosão baixo.

As classes de PNE baixo e médio possuem erosividade média forte, relevo plano a suavemente ondulado e tipo de solo Podzol Hidromórfico, enquanto que as classes alto e muito alto possuem erosividade alta, relevo ondulado e tipo de solo Argissolo Vermelho Amarelo.

Considerando o produto da espacialização do PNE, a Figura 15 apresenta a distribuição das classes de perda de solo, cujos intervalos variaram de 0 a 8.200 ton/ha/ano. Na Figura é possível verificar que a parte Norte do mapa (jusante da bacia) é onde se encontram os maiores valores do PNE.

Nessas áreas também coincidem com os maiores valores de erosividade, declividade e onde está presente o tipo de solo Argissolo Vermelho Amarelo. Apesar de a maior parte da bacia apresentar PNE baixo, em áreas de erosividade alta, relevo ondulado e tipo de solo Argissolo Vermelho Amarelo, o PNE foi considerado alto a muito alto. O que demonstra relação dos fatores físicos da equação com as áreas mais suscetíveis a erosão.



**Figura 15** – Mapa do PNE da Bacia Experimental do Riacho Guaraíra.

## 5. CONCLUSÕES

A utilização integrada entre a ferramenta SIG e as equações empíricas USLE e PNE, aliadas ao uso das técnicas de Sensoriamento Remoto se mostrou um método rápido e eficaz de representação espacial das perdas de solo na Bacia Experimental do Riacho Guaraíra e na identificação das áreas mais suscetíveis a erosão.

Os valores estimados de perdas de solo pela USLE para os anos de 1974 e 2012 sugerem que as perdas médias de solo foram de 20 t/ha/ano, chegando até 50 t/há/ano nas áreas próximas ao exutório da bacia. Além disso, houve um aumento considerável do desmatamento durante os últimos 30 anos. Apesar de tipos de solo encontrados na bacia oferecem certa resistência à erosão, a influência da ação antrópica com o plantio de cana-de-açúcar vem interferindo nas perdas de solo da bacia.

Com relação ao PNE, a bacia em sua totalidade apresentou Potencial Natural de erosão baixo. Apesar disso, em áreas de erosividade alta, relevo ondulado e tipo de solo Argissolo Vermelho Amarelo, o PNE foi considerado alto a muito alto. O que mostra relação dos fatores físicos do PNE com as áreas mais suscetíveis a erosão. Vale salientar que nas áreas de PNE alto e muito alto estão presentes cursos d'água que podem receber sérios impactos com as perdas de solo e produção de sedimentos provocados por um manejo inadequado do solo com a retirada da composição vegetal, tendo em vista o predomínio do cultivo da cana-de-açúcar na bacia.

Consequentemente a isso, gerar impactos na região da Bacia do Rio Gramame com a produção de sedimentos e suas associações com agrotóxicos quando carregados pela ação das chuvas, provocando sérios danos ambientais na bacia. Portanto, verifica-se a importância de novos trabalhos relacionados com a temática apresentando alternativas a esses problemas.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. W.; MOURA, F., GILSON; SANTOS, JOSÉ, R.; COSTA, J. P. V. da.; SOUZA, J. L. **Determinação de fatores da Equação Universal de Perda de Solo nas condições de Sumé, PB.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB, v. 09, n. 02, p. 180-188, 2005.

ALMEIDA, C. M.. **Aplicação dos Sistemas de Sensoriamento Remoto por Imagens e o Planejamento Urbano e Regional.** Arq.Urb. Revista Eletrônica de Arquitetura e Urbanismo (USJT), v. 3, p. 98-123, 2010.

ARAÚJO, H. M. de. **A abordagem sistêmica nos estudos relacionados à bacia hidrográfica.** Revista Candeeiro, Aracaju, ano VI, v. 9 e 10, p. 96-98, 2003.

ARAÚJO, R. da S.; VIANNA, P. C. G.; ARAÚJO, C. F. de.; NETO, F. V. de A. S. **Atuação do Comitê de Bacias Hidrográficas do Litoral Sul mediando conflitos em Área de Assentamento de Mucatú, Alhandra-PB.** XVII Encontro Nacional de Geógrafos - XVII ENG Belo Horizonte – 22 a 28 de julho de 2012. UFMG – Campus Pampulha.

BACCHI, C. G. V.; STEFFEN, J. L.; ALVES, S. T.; PARANHOS, F. A. C.; DANIEL, O. **Aplicabilidade de modelo de predição de erosão na bacia do Taquarizinho (MS).** XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e Água. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008.

BARBOSA, M. E. F.; FURRIER, M.. **Técnicas de geoprocessamento e morfometria aplicados na detecção de atividades neotectônicas no Grupo Barreiras, estudo da bacia hidrográfica do rio Guruji (PB).** Revista Acta Geográfica (UFRR), v. 6, p. 117-131, 2012.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo.** Piracicaba, Livroceres, 392 p., 1985.



BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico**. Caderno de Ciências da Terra, 13. São Paulo: IGEO/USP, 1972.

BIGARELLA, J. J.; MAZZUCHOWSKI, J. Z. **Visão integrada da problemática da erosão**. Livro Guia do III Simpósio Nacional de Controle da Erosão. Maringá, p. 01-19; 93-121, 1985.

BRANDÃO, D. **Risco de degradação dos recursos hídricos na bacia do ribeirão Pinhal Limeira (SP): uma proposta metodológica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 85 p., 2001.

BRASIL. **Código Florestal**. Lei nº 4.471 de 15 de setembro de 1965. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l4771.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4771.htm)> Acesso em: 22 Jan. 2013.

CARVALHO, E. M.; PINTO, S. A. F.; SEPE, P. M.; ROSSETTI, L. A. F. G. **Utilização do geoprocessamento para avaliação de Riscos de erosão do solo em uma bacia hidrográfica: estudo de caso da bacia do rio Passa Cinco/SP**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2010, Recife - PE. Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, p. 001-008, 2010.

CARVALHO, E. M.; PINTO, S. A. F.; SILVA, P. V. da. **A evolução do uso e ocupação do solo na bacia do Córrego Porteira, Aquidauana/MS**. Iº Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2006, Campo Grande. Iº Simpósio de Geotecnologias no Pantanal/Uso da terra e educação ambiental. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, p. 438-446, 2006.

COELHO NETTO, A. L.. Hidrologia de encostas na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.) **Geomorfologia: uma revisão de conceitos e bases**. Ed. Bertrand, 1994, p. 93-148.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2008, 600 p.

COSTA, S. G. F; CARDOSO, M. A.; SILVA, R. M. **Avaliação do Potencial Natural de Erosão mediante técnicas de SIG: O estudo de caso da Bacia Experimental do Riacho Guaraíra**. In: XVII Encontro Nacional de Geógrafos. Belo Horizonte – MG, 2012.

COSTA, S. G. F; SILVA, R. M. **Potencial Natural e Antrópico de Erosão na Bacia Experimental do Riacho Guaraíra**. Revista Cadernos do Logepa, João Pessoa, v. 7, n. 1, p. 72-91, ISSN: 2237-7522, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. Editora Edgard Blücher LTDA. São Paulo, 1999, 236 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A **GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units**. Journal of Soil and Water Conservation, 51 (5): 427-433, 1996.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FAO. La erosión del suelo por el agua. **Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo**. Cuadernos de fomento agropecuario da Org. de Las Naciones Unidas-FAO, Roma, n. 81, 207 p., 1967.

FARINASSO, M.; CARVALHO, J. O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M.. **Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da USLE – Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba – PI-MA**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 7, n. 2, p. 73-85, 2006.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 2ª edição de imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 10º Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, 396p.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S.. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A.C.; GUERRA, A.J.T. (Org.). **Reflexões sobre a geografia física do Brasil**. São Paulo: Bertrand Brasil, 2004.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Populacional 2010.

MOORE, I. D.; BURCH, G. **Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation**. Soil Science Society of America Journal, n. 50, p. 1294-1298, 1986.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo, Contexto, 2000.

MOREIRA, E.; TARGINO, I.; PEREIRA, M. P. B.; SOUZA, L. M. ; PENHA, J. P. da. **Crise do Proalcool e Emprego Rural na Zona Canavieira da Paraíba**, 1997.

NASCIMENTO. W. M.; VILAÇA, M. G.. **Bacias Hidrográficas: Planejamento e Gerenciamento**. Revista eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros, Três Lagoas, n. 7, maio de 2008.

PELÁ, G. de M.; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T.. **Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online), v. 10, p. 315-322, 2006.

PORTO, M. F A; PORTO, R. L. L.. **Gestão de bacias hidrográficas**. Estudos Avançados, v. 22, p. 43-60, 2008.

PRADO, T. B. G.; MORAES, J. F. L.; ADAMI, S. F. **Evolução do Uso das Terras e Produção de Sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa - PB. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005.

RAMPIM, L.; TAVARES F., J.; BEHLAU, F.; ROMANO, D. **Determinação da Capacidade de Uso do Solo visando o Manejo Sustentável para uma média propriedade em Londrina-PR**. Bioscience Journal (UFU. Impresso), v. 28, p. 251-264, 2012.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia Ambiental. In GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B.. **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C.. **Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.2, p. 115-123, 2010.

SANTOS, A. R.. **Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 141 p., 2001.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, L. P.; SILVA, J. F. C. B. C. **Soil loss prediction in Guaraíra river experimental basin based on two erosion simulation models**. Revista Ambiente & Água, v. 2, p. 19-33, 2007.

SILVA, R.M.; SANTOS, C. A. G. **Estimativa da produção de sedimentos mediante uso de um modelo hidrossedimentológico acoplado a um SIG**. v. 12, n. 5, p. 520-526, 2008.

SOUZA, A. C. M.; SILVA, M. R. F.; DIAS, N. S. **Gestão de recursos hídricos: o caso da bacia hidrográfica Apodi-Mossoró (RN)**. Irriga (UNESP. CD-ROM), v. ed. esp, p. 280-296, 2012.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais**. 2º edição. Editora da UFSC: Editora da Universidade Federal do Paraná. Brasil, 1990.

TUCCI, C. E. M.. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4, 1997.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ROCHA, O. Limnologia de águas interiores: impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: REBOUÇAS, A; BRAGA, B; TUNDISI, J. G. **Uso e conservação**. 2. ed. São Paulo: Academia Brasileira de Ciências, Instituto de Estudos Avançados, USP, 195-225 p., 2002.

VIEIRA, E.; TAGLIANI, C. R. **Criação de um Banco de Dados Geográficos para o Município de Capão do Leão – RS**. Anais X SBSR, Foz do Iguaçu, INPE, p. 1039-1046, 2001.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planting**. (Agriculture Handbook, 537). Washington: USDA, 58 p., 1978.

ZORATTO, A. C. **Estudo dos Impactos Ambientais da Indústria Canavieira**. In: II Fórum de Meio Ambiente da Alta Paulista, 2006, Tupã - SP. II Fórum de Meio Ambiente da Alta Paulista, 2006.

ZHANG, Y.; DEGROOTE, J.; WOLTER, C.; SUGUMARAN, R. **Integration of Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) into a GIS framework to assess soil erosion risk**. Land Degradation & Development, Iowa City, v.20, n.1, p. 84-91, 2009.